DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN-EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ
JULIO ALFREDO SEBÁ CUENTAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2008

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN-EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ
JULIO ALFREDO SEBÁ CUENTAS

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al titulo de:
Ingeniero Mecánico

Director:
M.S.c. PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO
Ingeniero Mecánico
Codirector:
PhD. DARÍO YESID PEÑA BALLESTEROS
Ingeniero metalúrgico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2008

Universidad Industrial de Santander

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO
MIGUEL ANGEL TORRES MARTÍNEZ	2001773

TITULO DEL PROYECTO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA EVALUAR LA CORROSIÓN- EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

REGISTRO No.	FACULTAD	CARRERA
	Ingenierías FisicoMecánicas	Ingeniería Mecánica
CALIFICACION (letra y número)		CREDITOS
4.9 (CUATRO COMA NUEVE)		8

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE	FIRMA
PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO	

CALIFICADORES

		FECHA		
		A	M	D
F N: RÓMULO NIÑO DELGADO	F JORGE MENESES	8	2	19

Original Oficina de Admisiones y Contabilidad Académica
Copias Coordinación de Carrera

Universidad Industrial de Santander

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO
MIGUEL ANGEL TORRES MARTÍNEZ	2001773

TITULO DEL PROYECTO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA EVALUAR LA CORROSIÓN-EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

	Ingenierías FisicoMecánicas	Ingeniería Mecánica
CALIFICACION (letra y número)		CREDITOS
APROBADO		8

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE	FIRMA
PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO	

CALIFICADORES

		FECHA		
		A	M	D
F N:RÓMULO NIÑO DELGADO	F JORGE MENESES	8	2	19

Original Oficina de Admisiones y Contabilidad Académica
Copias Coordinación de Carrera

Universidad Industrial de Santander

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO
JULIO ALFREDO SEBÁ CUENTAS	1972846

TITULO DEL PROYECTO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA EVALUAR LA CORROSIÓN- EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

REGISTRO No.	FACULTAD	CARRERA
	Ingenierías FisicoMecánicas	Ingeniería Mecánica

CALIFICACION (letra y número)	CREDITOS
4.9 (CUATRO COMA NUEVE)	8

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE	FIRMA
PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO	

CALIFICADORES

F	F	FECHA A	M	D
N: RÓMULO NIÑO DELGADO	JORGE MENESES	8	2	19

Original Oficina de Admisiones y Contabilidad Académica
Copias Coordinación de Carrera

Universidad Industrial de Santander

NOTA DEL PROYECTO DE GRADO

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO
JULIO ALFREDO SEBÁ CUENTAS	1972846

TITULO DEL PROYECTO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBA PARA EVALUAR LA CORROSIÓN-EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

	Ingenierías FisicoMecánicas	Ingeniería Mecánica

CALIFICACION (letra y número)	CREDITOS
APROBADO	8

DIRECTOR DEL PROYECTO

NOMBRE	FIRMA
PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO	

CALIFICADORES

F	F	FECHA A	M	D
N:RÓMULO NIÑO DELGADO	JORGE MENESES	8	2	19

Original Oficina de Admisiones y Contabilidad Académica
Copias Coordinación de Carrera

DEDICATORIA

A Dios.

A mi mamá Sara Lucia, por sus consejos, valores inculcados e inmenso cariño.

A mi papá Miguel Ángel, por su sacrificio y esfuerzo.

A mis hermanos German, Liliana y Juan Guillermo que con su apoyo en los buenos y amargos momentos me dieron fuerza para seguir adelante.

A mi tío Hernando Torres que con su ejemplo de superación me ha enseñado a esforzarme para entregar lo mejor de mí y porque en todo momento estuvo allí para apoyarme.

Miguel Ángel Torres Martínez

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, por permitirme caminar a su lado y ser todo lo que soy.

A mi Papá Luis Carlos por su continuo sacrificio para sacarnos adelante y a su entereza que lo hace siempre tener una palabra de apoyo para ayudarnos a levantar cuando hemos tropezado.

A mi Mamá Carmen por el amor incondicional y por obligarme a aprender el valor del esfuerzo propio y hacerme afrontar el mundo con mis propias manos . Este triunfo también es tuyo mamá.

A mi Novia y Mujer Lina Maria, por ser tan especial y soportarme, lo más lindo que tengo en la vida. Gracias por tu esfuerzo y dedicación por hacerme una mejor persona.

A Mi hermano Luis Carlos alias el Pequeño, por darme su apoyo incondicional y por todo su cariño. Bendición hermano.

A mi hermano Jairo por estar siempre ahí, más en las malas que las buenas. Llega el tiempo de hacerte gozar las buenas hermanito.

A mi hermanita Grace por ser mi fuente de inspiración y fortaleza para triunfar sobre todas las dificultades, mi mejor amiga, mi cómplice, mi niña bonita.

A todas esas mujeres que son parte de mi vida, por haber permitido que sacrificara tiempo valioso de su compañía para poder terminar mi carrera.

A toda mi familia y amigos por que siempre me ayudan a estar en la cima, gracias por su respaldo.

Julio Alfredo Sebá Cuentas

AGRADECIMIENTOS

Quienes elaboramos este proyecto, agradecemos a todas aquellas personas que nos sirvieron de apoyo y fueron de gran ayuda en el desarrollo del proyecto, muy especialmente a nuestro Director *Pedro José Díaz Guerrero* por confiar ciegamente en nosotros y por apoyarnos siempre; a nuestro codirector *Darío Yesid Peña Ballesteros* por su colaboración , confianza y respaldo; a los Ingenieros del grupo de corrosión *Hugo Estupiñán y Yesid García* por ser nuestro banco de consultas y fortalecer nuestros conocimientos en corrosión y pruebas electroquímicas, *a Don Ambrosio , Don Henry Cruz , Don Gonzalo y Don Pedro Caldas* porque gracias a su apoyo y a su gran ayuda fue posible terminar con éxito y a tiempo nuestro equipo.

También deseamos agradecer a los señores Wilson Vesga y Fermín Gómez por hacer amena la estadía en el laboratorio de tribología en la escuela de Ingeniería Metalúrgica.

A nuestros familiares y amigos, en quienes encontramos un soporte constante durante la ejecución de este proyecto.

Al grupo de tribología y superficies (GTUIS) por su colaboración y financiamiento de nuestro proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 17

1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS 21

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 21

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA 22

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO 22

1.3.1 Objetivos generales 22

1.3.2 Objetivos específicos 23

2. GENERALIDADES, OPERACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL BANCO PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN-EROSIÓN -*SPEVCEM2742* 25

2.1. GENERALIDADES 25

2.2. OPERACIÓN DEL *SPEVCEM2742* 27

2.3 DESCRIPCIÓN DEL *SPEVCEM2742* BANCO PARA PRUEBAS DE CORROSIÓN-EROSIÓN 30

2.3.1 Descripción de la Estructura 30

2.3.2. Descripción de la Celda de Carga 32

2.3.3 Descripción del Mecanismo Portaprobetas y Variador del Ángulo de Impacto 35

2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO 36

2.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE 39

2.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL 40

2.7 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN 40

3. DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL *SPEVCEM2742* BANCO PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN-EROSIÓN 42

3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA 45

3.2 DISEÑO CELDA DE CARGA 45

3.3 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 46

3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA 46

3.5 SELECCIÓN DE LA BOMBA 48

3.5.1 Cabeza teórica de la bomba 48

3.5.3 Parámetros de entrada 50

3.5.4 Resultados de cálculos 51

3.6 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE MEDICIÓN O MONITOREO 52

3.7 SELECCIÓN DE LA BOQUILLA 52

3.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL *SPEVCEM2742* 53

3.8.1 Diseño eléctrico 53

3.8.2 Selección de los elementos eléctricos 54

4 MANUAL DE USUARIO EQUIPO *SPEVCEM2742* 60

4.1 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD 60

4.1.1 Advertencias 60

4.1.2 Atención 60

4.2 INSTRUCCIONES DE MANEJO 60

4.2.1 Descripción del SPEVCEM2742 60

4.2.2 Control de operación del equipo 60

4.2.3 Equipos adicionales 60

4.3 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO 60

4.3.1 Limpieza Después De Pruebas 60

4.3.2 Mantenimiento Periódico del Equipo.....60
5. DESARROLLO DE PRUEBAS 61
5.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....62
5.2 CONCLUSIONES ENSAYOS TAFEL.....63
CONCLUSIONES 66
ANEXOS.....70

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Módulos y sistemas del *SPEVCEM2742*.....43

Cuadro 2. Propiedades mecánicas del material depositado AWS E308L-16 81

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Diseño esquemático del equipo para evaluar velocidades de corrosión-erosión en metales *SPEVCEM2742*. 26

Figura 2. Esquema caja de control 27

Figura 3. Esquema de operación 28

Figura 4. Descripción de la estructura 31

Figura 5. Celda de carga 33

Figura 6. Celda de carga y componentes 34

Figura 7. Explosión mecanismo portaprobetas y variador del ángulo de impacto .35

Figura 8. Sistema de almacenamiento....37

Figura 9. Dispositivo de agitación 38

Figura 10. Mecanismo de fijación de la boquilla 39

Figura 11. Equipo *SPEVCEM2742* 44

Figura 12. Esquema circuito Hidráulico. 47

Figura 13.Electrobomba seleccionada....51

Figura 14. Boquilla Chorro Solidó 53

Figura 15.Circuito de lógica cableada....54

Figura 16. Esquema eléctrico de alimentación 110V y 220V....55

Figura 17. Esquema eléctrico arrancador telemecanique LE1DO9M7 56

Figura 18. Esquema eléctrico del temporizador.....57

Figura 19. Esquema eléctrico control de electrobomba. 58

Figura 20. Esquema eléctrico del dispositivo variador de velocidad. 58

Figura 21. Esquema eléctrico control agitador.....58

Figura 22.Equipo SPEVCEM2742 61

Figura 23.Equipo SPEVCEM2742 en operación.....62

Figura 24. Resultados Pruebas de Corrosión-Erosión.....65

Figura 25. Diagrama de Shaeffler. Constitución del metal de soldadura de los aceros inoxidables. 82

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. NORMA ASTM G1 71

ANEXO B. NORMA ASTM G59 78

ANEXO C. SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES 80

ANEXO D. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN MEDIANTE ENSAYOS ELECTROQUÍMICOS 83

ANEXO E. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LATÓN AL ALUMINIO EN AGUA POTABLE 85

ANEXO F. ESPECIFICACIONES BOMBA CENTRIFUGA 91

ANEXO G. CATÁLOGO TEMPORIZADOR 93

ANEXO H. MANUAL USUÁRIO *SPEVCEM2742* 98

ANEXO I. MANUAL SCAP363 127

ANEXO J. PLANOS 150

RESUMEN

TÍTULO:
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LOS EFECTOS DE LA CORROSIÓN-EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS[*]

ATORES:
MIGUEL ÁNGEL TORRES MARTÍNEZ
JULIO ALFREDO SEBÁ CUENTAS[**]

PALABRAS CLAVES:
Diseño, construcción, corrosión, erosión.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un banco para realizar ensayos de corrosión-erosión en materiales metálicos, evaluando los efectos de velocidad del fluido y ángulo de impacto sobre la corrosión-erosión.

La prueba se efectúa en circuito cerrado o de recirculación conformado por un tanque, una celda de carga, una bomba centrifuga, tubería, mangueras y boquilla; la circulación del fluido comienza a la salida de la bomba o descarga; la bomba succiona, desde un tanque de almacenamiento un fluido de cloruro de sodio (NaCl); por medio de una línea de tubería en la cual se encuentran conectados los elementos de monitoreo del caudal, la presión y temperatura del fluido, este llega a una boquilla de chorro sólido en donde se acelera y se produce el impacto entre el fluido y la muestra a analizar, la cual se encuentra conectada a un dispositivo potenciostato-galvanostato; la prueba se realiza en inmersión total y el ángulo de impacto pude ser variado entre 0º y 90º respecto a la normal entre el eje de simetría de flujo y la superficie de la probeta. El fluido en la celda de carga pasa por gravedad al tanque de almacenamiento donde es agitado para mantener la homogeneidad de la mezcla y continuar el recorrido a través del circuito el tiempo que lo requiera la prueba.

Este equipo está diseñado para operar un tiempo máximo de 6 horas y una velocidad máxima de 8 m/s, y fue construido para el laboratorio de Tribología y Superficie de la Universidad Industrial de Santander, para profundizar en las investigaciones de los efectos sinérgicos corrosión-erosión desarrolladas por el grupo de tribología y superficie (GTUIS). El diseño CAD de la máquina fue realizado en Solid Edge V12

---

[*] Trabajo de Grado

[**] Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Pedro José Díaz R

SUMMARY

TITLE:
DESIGN, CONSTRUCTION AND ASSEMBLY OF A RIG OF TESTS TO EVALUATE CORROSION-EROSION IN METALLIC MATERIALS*

AUTHOR:
MIGUEL ANGEL TORRES MARTÍNEZ
JULIO ALFREDO SEBÁ CUENTAS**

KEY WORDS:
Design, construction, corrosion, erosion.

SUMMARY:

The present work has as objective to design and to build a test rig to carry out corrosion-erosion test in metallic materials, evaluating the results of rate of the fluid and impact angle on the corrosion-erosion.

The test was carried out in a closed circuit of recirculation composed by a tank, a load cell, a centrifugal pump, pipe, hoses and a ejector nozzle; the circulation of the fluid begins to the exit of the pump or discharge; the pump impels from a storage tank a fluid of sodium Chloride (NaCl); by means of pipe line in which are connected the elements of monitoring of the flow, the fluid pressure and temperature. The fluid arrives to a nozzle of solid jet where accelerates and the impact takes place between the fluid and the sample to analyze, which is connected to a device potenciostat-galvanostat; the test is carried out in total immersion and the impact angle I could be varied between 0º and 90º regarding the normal between the symmetry axis of the flow and the surface of the test sample. The fluid in the load cell goes to storage tank by gravity, where it is kept homogeneous and continues through the circuit the time that the test requires.

This rig is designed to operate a time about of 6 hour sand a maximum speed of 8 m/s, and it was built for the laboratory of Tribology and Surfaces of the Universidad Industrial de Santander. With this rig the group can research into the synergies corrosion-erosion and its effects on materials. The CAD design of the machine was carried out in Solid Edge V12

---

* Undergraduated thesis

** Faculty of Physiomechanical Engineerings , School of Mechanical Enginieering . Eng Pedro José Díaz R

INTRODUCCIÓN

Los equipos y elementos utilizados para el desplazamiento de líquidos con propiedades disímiles que contienen sólidos en suspensión en los diferentes procesos industriales de producción, están sometidos a la corrosión y desgaste por erosión, debido al movimiento relativo del fluido respecto a la superficie del metal; lo cual genera efectos severos de desgaste mecánico y abrasión.

Es de esta manera que el grupo de tribología y superficies (GTUIS) se dio a la tarea de investigar más a fondo este fenómeno, requiriendo para ello un equipo para realizar estudios que predigan el comportamiento de los diferentes materiales sometidos a estos ambientes nocivos, con el fin de determinar el material con el mejor comportamiento en estos medios, el resultado de estos estudios conduce al aumento de la vida útil de los diferentes equipos y elementos en la industria colombiana.

Existen dos métodos básicos para realizar estos ensayos, las pruebas simuladas en los laboratorios y las realizadas en campo, las cuales requieren un mayor tiempo. A diferencia de las de campo, las simulaciones llevadas acabo en los laboratorios permiten flexibilidad y la reproducibilidad en las pruebas y un mejor control sobre las condiciones a las que está expuesta el espécimen. Por lo tanto, todo esto hace considerablemente más confiable las pruebas desarrolladas en los laboratorios.

Una amplia gama de equipos ha sido diseñada para realizar estudios de corrosión-erosión en los laboratorios. Por ejemplo un impulsor que lleva una probeta, unido a un eje que rota en un plano vertical dentro de una mezcla de salmuera y sílice

para generar desgaste erosivo, fue utilizado por Jacobs y Boothroyde[1], esta técnica tiene la desventaja que presenta dificultades de monitoreo de ciertas variables como la cuantificación de la velocidad de impacto, puesto que la mezcla se mueve hasta cierto punto con el espécimen que rota. Además, no permite un amplio rango de variación del ángulo de impacto.

Otro tipo de aparato fue desarrollado por J. B. Zu, I. M. Hutchings y G. T[2] en el que se emplea una bomba, la cual succiona un fluido de salmuera y lo transporta por la tubería hasta el eyector, en el cual se crea una región de baja presión, y una mezcla de agua y partículas de arena es succionada a través del tubo vertical de succión, de manera que alcanza la cama sumergida de arena; la mezcla resultante se acelera a través de la salida de la boquilla y choca con la probeta; sin embargo, no permite realizar pruebas de impacto de chorro sumergido, además, la concentración depende de la velocidad de impacto del fluido. Un equipo similar fue diseñado por G. Terán[3]; el cual por medio de una bomba centrifuga transporta un fluido de salmuera el cual impacta la cara plana de una probeta. Este ha sido utilizado exitosamente caracterizando la resistencia a la corrosión-erosión y suministró datos para la selección de materiales.

Respecto al mismo fueron descritas las siguientes ventajas: la reproducibilidad de los resultados de la prueba fue excelente y permitió tanto la variación del ángulo de impacto como de la velocidad; además permitió realizar pruebas de impacto de

[1] B. E. A. Jacobs and J. Boothroyde, Pipe wear testing 1976-1977, En: L. Gittins (ed.), Wear in Slurry Pipelines, BHRA Information Series, Number 1, BHRA Fluid Eng. Cranfield, Bedfordshire, 1980, pp. 50-87.
[2] J. B. Zu, I. M. Hutchings and G. T. Burstein. Design of a slurry erosion test rig. En Wear, 140 (1990) 331-344.
[3] TERÁN PÉREZ, Gabriel. Diseño y construcción de un equipo de laboratorio para pruebas de corrosión-erosión. En: TERCER CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA (14ª: 2004: Barranquilla). Ponencias del III congreso internacional de ingeniería mecánica. Barranquilla: Universidad del Norte: 14 p.

chorro sumergido. Sin embargo no permite llevar a cabo prueba electroquímicas que permitan evaluar la velocidad de corrosión y perdida de masa por erosión.

En el presente trabajo se llevó a cabo el diseño y construcción de un equipo para efectuar pruebas electroquímicas de corrosión-erosión, el cual mantiene la mayor parte de las ventajas y supera las desventajas del equipo empleado por G. Terán, esto se debe a que nuestro equipo está en condiciones de realizar pruebas electroquímicas y garantizar los resultados en poco tiempo, todo esto gracias a la disposición que tiene para interactuar con un potenciostato-galvanostato. Es de anotar, que los especimenes son fácilmente accesibles y se permite un mayor rango de variación del ángulo de impacto.

En el primer capítulo de este informe se presenta la determinación de los requerimientos que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de grado. En primer lugar se identificó un problema existente en el campo de la investigación de la corrosión-erosión, se justificó una solución al problema y se plantearon objetivos que permitieron la realización de una propuesta de diseño y construcción de un equipo dando solución al problema identificado.

En el segundo capítulo se ilustran generalidades del funcionamiento del equipo SPEVCEM2742, su puesta en marcha y una descripción física de los componentes que lo conforman, familiarizando al lector con el funcionamiento del banco.

El tercer capítulo hace referencia a todo el análisis ingenieril realizado para llevar acabo el diseño, la selección de equipos y de materiales de construcción, la construcción y el montaje del banco para ensayos de corrosión-erosión, sustentando el trabajo realizado y demostrando que el equipo está garantizado para un óptimo desempeño.

El cuarto capítulo suministra instrucciones detalladas para la operación del SPEVCEM2742 y ejecución de las pruebas, además de una serie de cuidados y recomendaciones para el mantenimiento preventivo, con el propósito de mantener las condiciones óptimas de operación de los elementos expuestos a la corrosión-erosión, para obtener un excelente funcionamiento del equipo y garantizar la reproducibilidad de los resultados en las pruebas.

Por último, en el quinto capítulo se adjuntan los resultados de las pruebas realizadas en la puesta a punto del equipo y reproducibilidad de los resultados los cuales avalan la inversión del Grupo de Tribología y Superficies en el proceso de investigación, diseño y construcción del equipo SPEVCEM2742.

1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La sinergia corrosión-erosión es identificada por la industria como una de las más importantes causantes de fallas de tipo estructural, tal es el caso de la corrosión localizada en mecanismos que se presenta en accesorios, tuberías y máquinas rotodinámicas como compresores, bombas centrifugas, turbinas y agitadores de tanques e impulsores de tornillo.

Es de vital importancia hacer notar, que estos equipos trabajan con elementos sometidos a ambientes nocivos como erosión, corrosión, temperatura y altas presiones, que afectan sus propiedades físicas y mecánicas impidiendo su buen funcionamiento y causando daños catastróficos a los componentes, lo que se traduce en altos costos de mantenimiento y paradas no programadas en la producción.

La *Universidad Industrial de Santander*, en especial la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*, por medio del G*rupo de Tribología y Superficies (GTUIS)*, quiere realizar estudios sobre los efectos de la concentración de sólidos, velocidad y ángulo de impacto en la resistencia a la erosión-corrosión en diferentes metales o aleaciones.

De esta manera se hace necesaria la creación de un dispositivo que permita evaluar la sinergia entre la erosión y la corrosión sobre la base de ensayos en el laboratorio, estableciendo las condiciones ambientales más parecidas a la que ocurre en un medio industrial.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de promover y estimular el avance del conocimiento en los diferentes campos de acción de la ingeniería, en particular en el estudio de los efectos de la velocidad y ángulo de impacto sobre la resistencia a la erosión-corrosión de diferentes materiales, es necesario un equipo que simule las condiciones ambientales lo más fielmente coincidente a la realidad, con el objeto de estudiar el comportamiento de dichos materiales bajo condiciones específicas de trabajo.

La construcción del referido equipo proporciona al *Grupo de Tribología y Superficies,* a los estudiantes de maestría y proyecto de grado de la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales* y a la *Universidad Industrial*, en general, una herramienta que permite evaluar, a través de técnicas electroquímicas, los efectos de la velocidad y ángulo de impacto, en la resistencia a la corrosión-erosión de diferentes materiales metálicos.

El desarrollo de esta plataforma replicará en la industria una mejora en los procesos de selección y evaluación de materiales y de igual manera nuevas estrategias de construcción de equipos en procesos industriales.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivos generales

Continuar con la misión de la *Universidad Industrial de Santander* de promover y estimular el avance del conocimiento en los diferentes campos de acción de la ingeniería, contribuyendo con el *Grupo de Tribología y Superficies (GTUIS)* de la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*, mediante el diseño, construcción, montaje y puesta punto de una máquina para realizar ensayos de erosión-corrosión.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar el diseño, construcción, montaje y puesta punto de un banco de pruebas para efectuar ensayos de erosión-corrosión en probetas[4] metálicas por chorro sumergido con solución que contiene 3.5% de NaCl por 96.5% partes de agua el cual debe:

  - Permitir variar la velocidad del chorro de impacto de (0 a 6 m/s), al igual que el ángulo de impacto sobre la probeta de (0°- 90°); lo primero, mediante un variador de velocidad que controla el motor de la bomba centrifuga, lo segundo, por un mecanismo manual, y al mismo tiempo garantizar que la probeta siempre permanecerá sumergida en la solución.

  - Garantizar un tiempo máximo de funcionamiento continuo de 6 horas, permitiendo por medio de un temporizador graduar el tiempo de duración de la prueba, asimismo, permitir monitorear la presión, temperatura y la velocidad de flujo de la solución.

  El diseño de estos componentes comprenderá:

  - Selección de los materiales a utilizar en la construcción.
  - Selección de los accesorios requeridos para el funcionamiento del banco (válvulas, tuberías, manómetros, etc.)
  - Producción de planos de los elementos diseñados para fabricación en software CAD Solid Edge.

- ✓ Realizar el manual de funcionamiento y guías de mantenimiento.

[4] Las probetas se montaran bajo la norma ASTM G1 (ver anexo A) y con un tamaño de muestra de 1 cm^2 de área de impacto por 6mm de espesor.

1.4. PROPUESTA DE DISEÑO

En el presente trabajo de grado se plantea la necesidad de diseñar y construir un banco para pruebas de erosión y corrosión el cual hace parte de un proceso innovador emprendido por la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales* con el fin de fortalecer e implementar nuevos servicios en el *Laboratorio de Tribología y Superficies* que permitirá consolidar convenios de asistencia tecnológica con empresas líderes en las diferentes áreas de competencia. Lo anterior dará origen a soluciones que ayudaran a reducir costos en las área de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo del sector industrial y, además, contribuirá con el fortalecimiento de la docencia de la escuela.

El modelo planteado por la *Escuela Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*, después de realizar una extensa revisión bibliográfica, adquirir nuevos conocimientos con el grupo de corrosión, condujo a proponer un equipo que consta de una bomba centrifuga, que succiona desde un tanque de almacenamiento un fluido de cloruro de sodio (NaCl); por medio de tuberías el fluido llega a una boquilla en donde se produce el impacto entre el fluido y la muestra a analizar.

Las pruebas se realizan colocando las muestras en inmersión total, a una distancia preestablecida; el portamuestras permite variar el ángulo de impacto cada 15° entre 0° y 90° respecto a la normal entre el eje de simetría del flujo y la superficie de la probeta.

La medición y análisis de los parámetros electroquímicos se lleva a cabo, a través de un potenciostato. Esta alternativa se elige como modelo para el diseño ya que su fabricación no es compleja y permite una evaluación de los efectos de la velocidad del fluido y el ángulo de impacto sobre la probeta cumpliendo con los requisitos exigidos por la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*.

2. GENERALIDADES, OPERACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL BANCO PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN-EROSIÓN -*SPEVCEM2742*

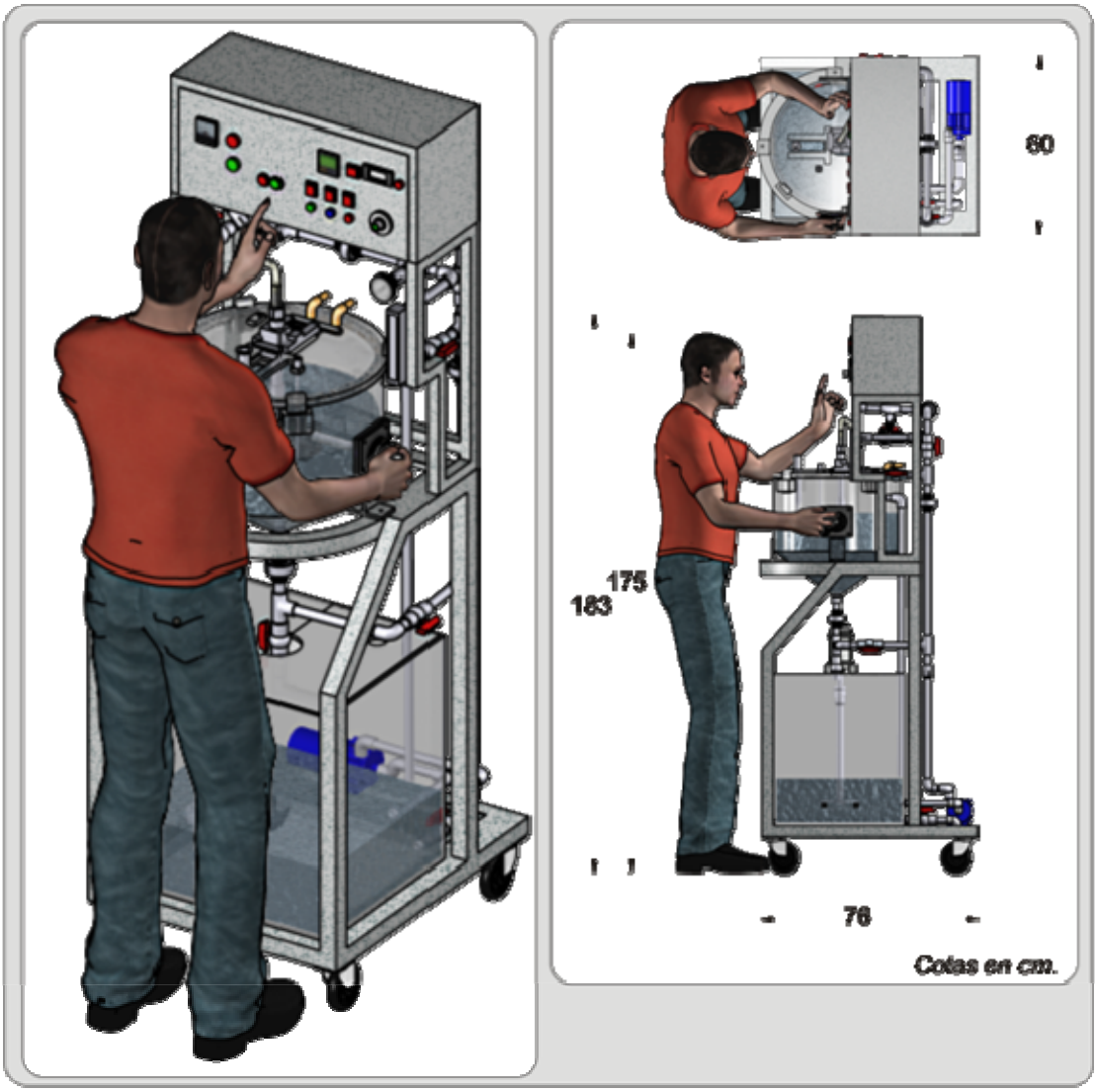
2.1. GENERALIDADES

Un diseño final del equipo *SPEVCEM2742* se pude observar en la figura 1. El mismo funciona de la siguiente manera: una mezcla de cloruro de sodio (NaCl) en agua es recirculada, por una bomba centrifuga, desde un tanque de almacenamiento con capacidad de 100 litros hasta una boquilla por medio de una línea de tubería de ½", donde se acelera la mezcla para impactar la cara plana de una probeta que se encuentra conectada por medio de un cableado al tablero de control, en el cual se establece el puerto de conexión con el potenciostato y se controlan las puestas en marcha y parada de los diferentes equipos (bomba y agitador).

La muestra se ubica en su respectiva portaprobetas, el cual es un dispositivo mecánico que permite variar el ángulo de impacto, respecto a la normal entre el eje de simetría del flujo y la superficie de la probeta en cualquier ángulo preestablecido entre 0º y 90º. Después de impactar la probeta, el fluido pasa desde la celda de carga hasta el tanque de almacenamiento. Esta celda de carga conecta al tanque por dos líneas de evacuación, una superior, que sirve como control de nivel, y una inferior, que sirve como línea de descarga al tanque de almacenamiento; en el tanque de almacenamiento se encuentra un dispositivo encargado de mantener la homogeneidad de la mezcla durante la prueba. La velocidad de impacto del chorro en el *SPEVCEM2742* se permite controlar de dos formas, a través de válvulas que restringe el flujo y/o regulando el voltaje del motor de la bomba centrifuga por medio de un variador de voltaje. La velocidad máxima de impacto desarrollada por el equipo es de 7 m/s sobre la muestra y una mínima minitoreable de 2m/s.

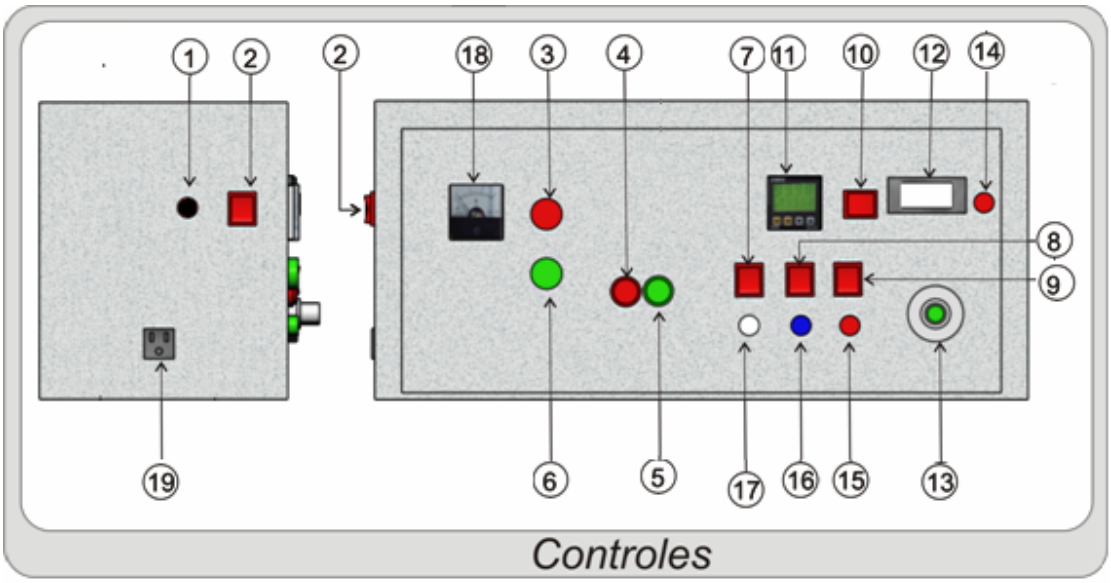
El *SPEVCEM2742* tiene algunas ventajas: es un diseño funcional y bajo en costos, es fácil de operar; sus elementos son fáciles de desmontar y de conseguir en el mercado.

Figura 1. Diseño esquemático del equipo para evaluar velocidades de corrosión-erosión en metales *SPEVCEM2742*.



2.2. OPERACIÓN DEL *SPEVCEM2742*

Figura 2. Esquema caja de control



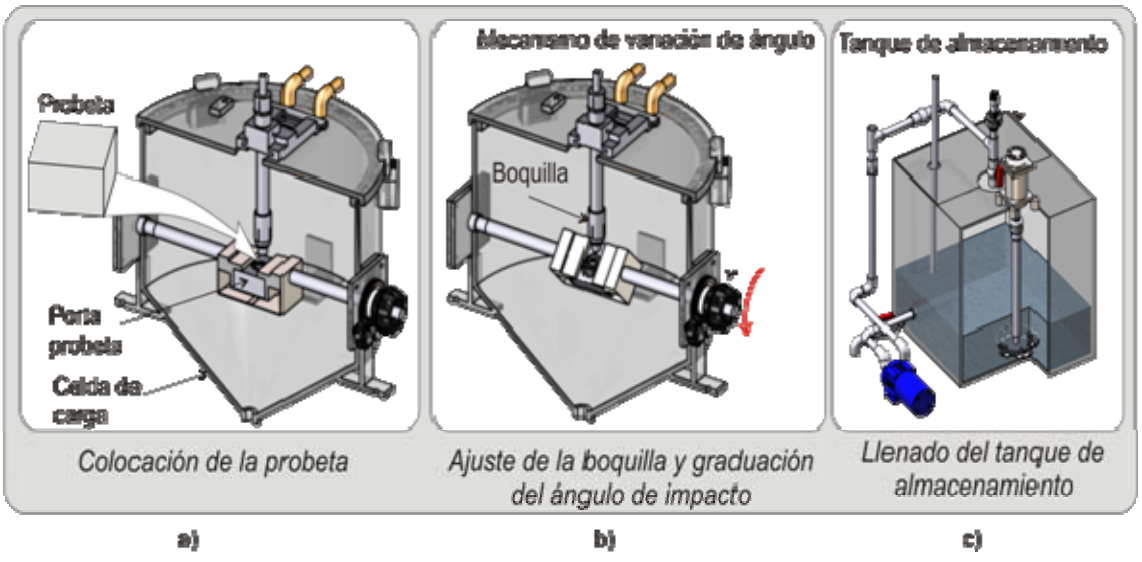
Lista de partes externas del tablero de control del SPEVCEM2724			
Nº	**Nombre**	**Nº**	**Nombre**
1	Fusible	11	Temporizador
2	Interruptor Principal	12	Panel LCD Variador de voltaje
3	Indicador Energización del Circuito	13	Perilla para el ajuste de velocidad de flujo
4	Botón Paro de Emergencia	14	Indicador del variador de voltaje
5	Botón de Arranque	15	Indicador de activación de la bomba
6	Indicador puesta en marcha del Sistema	16	Indicador de activación del agitador
7	Interruptor Temporizador (T)	17	Indicador de activación del temporizador
8	Interruptor Agitador (A)	18	Amperímetro
9	Interruptor Bomba (B)	19	Fuente equipo 110 V
10	Selector de control de velocidad de flujo		

Cuando se quiera hacer uso del banco[5], se necesita alimentarlo con línea de 110 V monofasica. Es necesario visualizar y activar el interruptor principal de alimentación (ubicado en la parte lateral izquierda del tablero de control (figura 2 (1))). Seguidamente en la parte frontal del tablero se encenderá una luz roja

[5] Ver capitulo cuarto: Manual de Usuario equipo *SPEVCEM2742*

indicando la energización del circuito (figura 2 (3)). La puesta en marcha de los elementos, después de haber sido previamente activados (interruptores T, A y B, representados por los indicadores blanco, azul y rojo respectivamente (ver figura 2), se lleva acabo mediante el accionamiento del botón verde ubicado en frente del tablero (figura 2 (5)). Después de dicha acción inmediatamente se enciende el indicador verde y se apaga el rojo (figura 2 (6)) indicando que los elementos eléctricos están en marcha. Contrario a esta acción pulsando el botón rojo ubicado al lado del botón verde y el cual sobre sale con respecto al tablero (figura 2 (4)), se corta la energía a los equipos, ya sea por que la operación ejecutada lo requiere o por paros de emergencia en casos de que las pruebas estén controladas por el temporizador. La disposición de operación del banco es realizada de tal forma que permite proteger los equipos eléctricos y asegurar el éxito de cada una de las pruebas ver figura 2.

Figura 3. Esquema de operación



Las pruebas se realizan colocando las muestras en inmersión total, para lo cual debe llenarse el tanque de almacenamiento con aproximadamente 50 litros de solución de cloruro de sodio (NaCl) figura 3 (c). La muestra debe situarse en el

portaprobetas y acoplarla en la celda de carga figura 3 (a). Seguidamente conectar el electrodo de la muestra al cableado del potenciostato[6], y proceder al ajuste de la boquilla en una posición fija, asegurando el impacto del chorro en la muestra, en un sitio idéntico durante ciclos sucesivos. Luego, se gradúa el ángulo de impacto por intermedio del mecanismo de variación del ángulo figura 3 (b) y se llena la celda de carga con el fluido de trabajo al nivel requerido, una vez confirmados estos pasos, se procede a girar la válvula de paso de la celda de carga para la recirculación del fluido, posteriormente se energiza el circuito eléctrico del prototipo.

Una vez energizado el sistema, en el panel de control, se gradúa, en el temporizador (figura 2 (11)), el tiempo de la prueba, así como la velocidad de impacto del chorro con la perilla ubicada en la parte frontal derecha del tablero de control (figura 2 (13)).

La prueba se efectúa en circuito cerrado o de recirculación conformado por dos tanques, una bomba centrifuga, tubería, mangueras y boquilla; la circulación del fluido comienza a la salida de la bomba o descarga; la bomba succiona, desde un tanque de almacenamiento, un fluido de cloruro de sodio (NaCl); por medio de una línea de tubería en la cual se encuentran conectados los elementos de monitoreo del caudal, la presión y temperatura del fluido, este llega a una boquilla de chorro sólido en donde se acelera y se produce el impacto entre el fluido y la muestra a analizar; estando en la celda de carga, por gravedad pasa al tanque de almacenamiento donde es agitado para mantener la homogeneidad de la mezcla y continuar el recorrido a través del circuito el tiempo que lo requiera la prueba.

La medición y análisis de los parámetros electroquímicos se lleva a cabo, a través de un potenciostato-galvanostato princeton modelo 363, que arroja una serie de

[6] Ver Manual del sistema de adquisición de datos SCAP 363 anexo I.

lecturas de la velocidad de corrosión y variación de masa por corrosión y erosión en la probeta, los cuales son adquiridos por el SCAP 363 y graficados en un PC[7] para su interpretación.

Al finalizar la prueba, se debe hacer una limpieza del prototipo, siguiendo los pasos del manual de usuario.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL *SPEVCEM2742* BANCO PARA PRUEBAS DE CORROSIÓN-EROSIÓN

2.3.1 Descripción de la Estructura[8]

La estructura del banco para ensayos de corrosión-erosión está diseñada de manera que permita acoplar y servir de base a todos los elementos que conforman el banco de prueba. Su distribución obedece a criterios funcionales, lo cual resulta en una estructura única, independiente, de fácil manejo y transporte. También proporciona el equilibrio necesario para un óptimo funcionamiento.

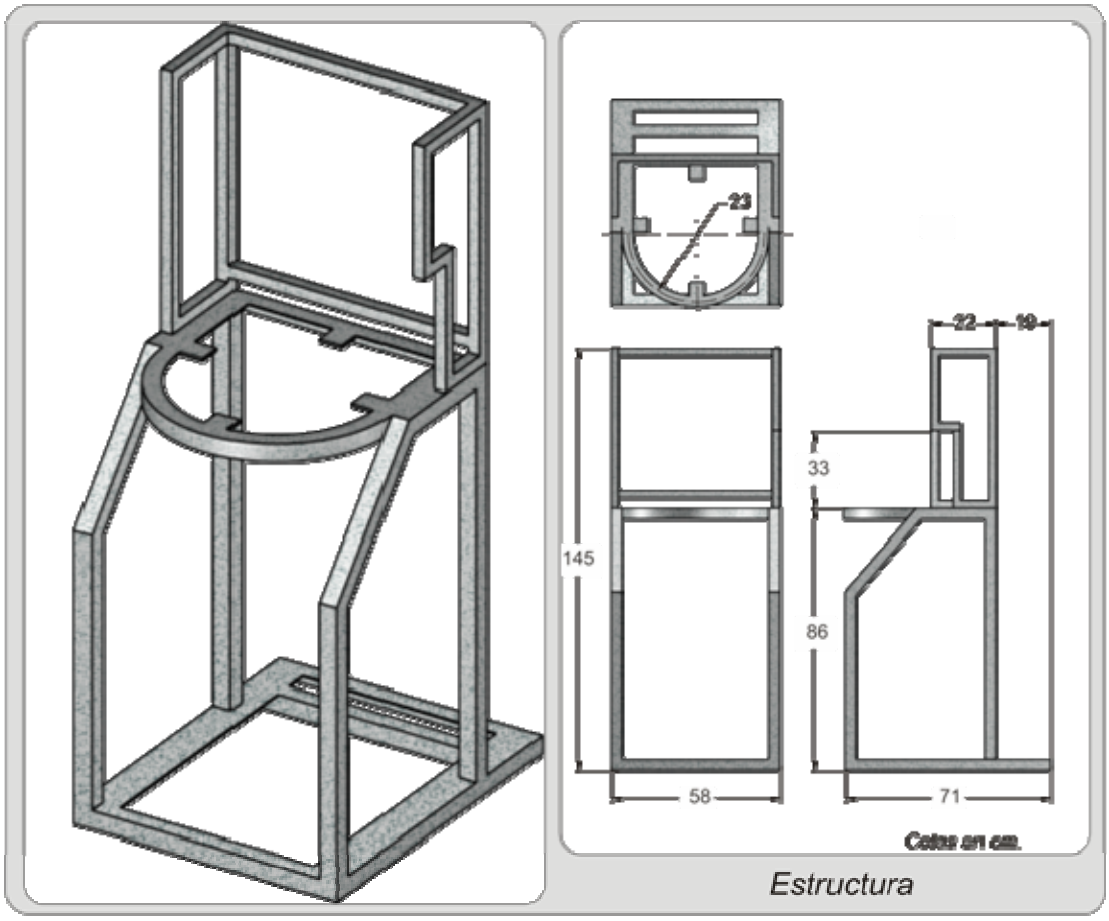
Esta construida en acero inoxidable S-304, en perfiles cuadrado de 1", 1"1/2 y perfil en L de 1"1/2, cortados y soldados según diseño, proporcionando una larga vida útil a la estructura y estabilidad al banco de pruebas ver figura 4.

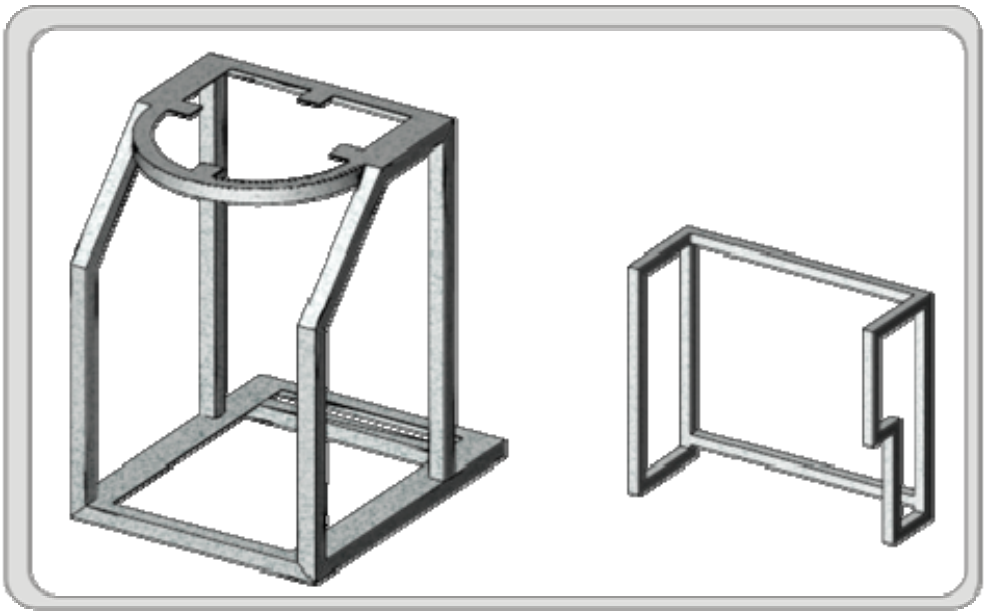
---

[7] Este proyecto necesita para el funcionamiento, de la integración de otros proyectos realizados por la escuela de ingeniería metalúrgica con estudiantes de ing. Electrónica. Ver ZABALA S. y MONROY D. *Repotenciación y actualización de un Potenciostato-Galvanostato Princeton 363 para el Laboratorio de Corrosión de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2005.

[8] Para mayor información de las dimensiones, consultar planos en el Anexo J

Figura 4. Descripción de la estructura





2.3.2. Descripción de la Celda de Carga[9]

La celda de carga tiene como función confinar el fluido donde se encuentra la probeta sumergida, y de esta manera garantizar que las pruebas de impacto de chorro sumergido se realicen, simulando el ambiente en el cual el material va a trabajar; está construida en acrílico; aproximadamente confina un volumen de 37 litros que representa un peso aproximado de 40 kg. Por medio de cuatro soportes se encuentra anclada a la estructura ver figura 5.

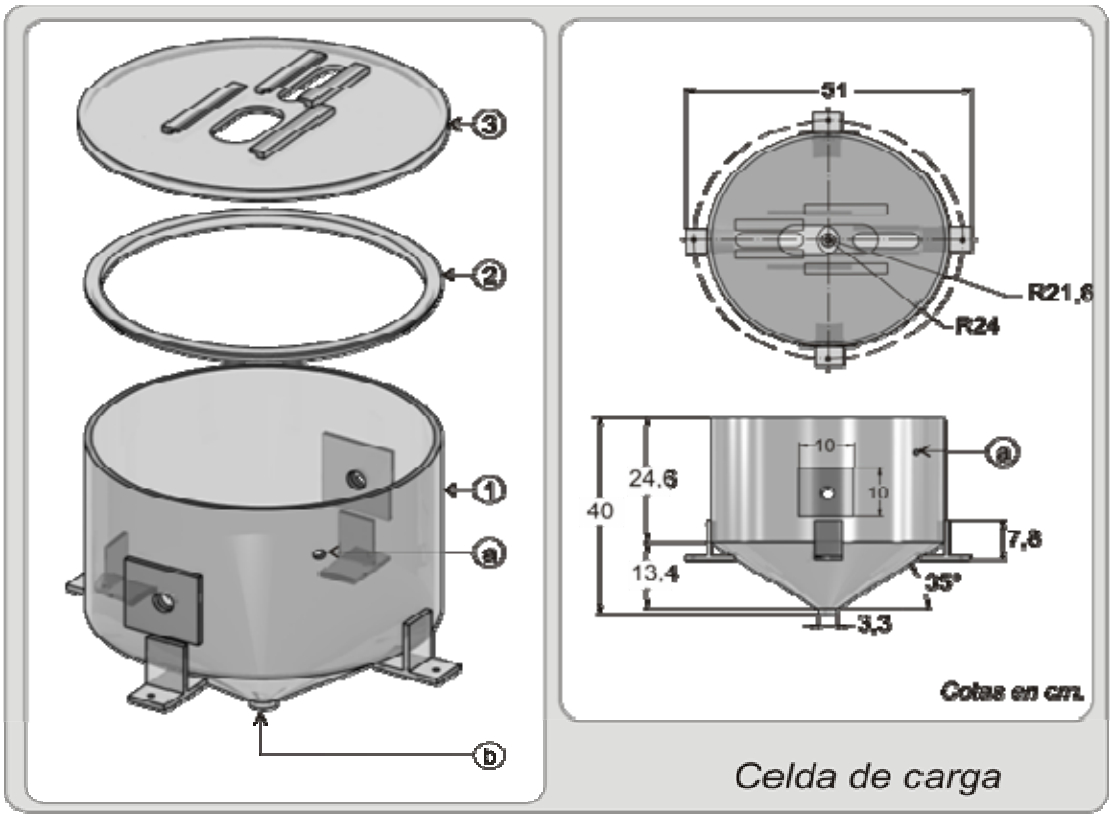
En su parte inferior y lateral superior cuenta con puertos para conexión de tubería en pvc de ½" o mangueras, la primera para evacuar al tanque de almacenamiento y la segunda para controlar el nivel del fluido en la celda (figura 5 (b y a respectivamente)).

En la parte superior se encuentra la tapa (figura 5 (3)), que sella herméticamente el recipiente. Esta tapa cuenta con dos mecanismos de posicionamiento, uno para la boquilla y otro para el electrodo de referencia.

La celda se dispuso de tal manera que permite el montaje del mecanismo de variación del ángulo de impacto y el de fijación del punto de impacto, manteniendo el seguro confinamiento del fluido (ver figura 6).

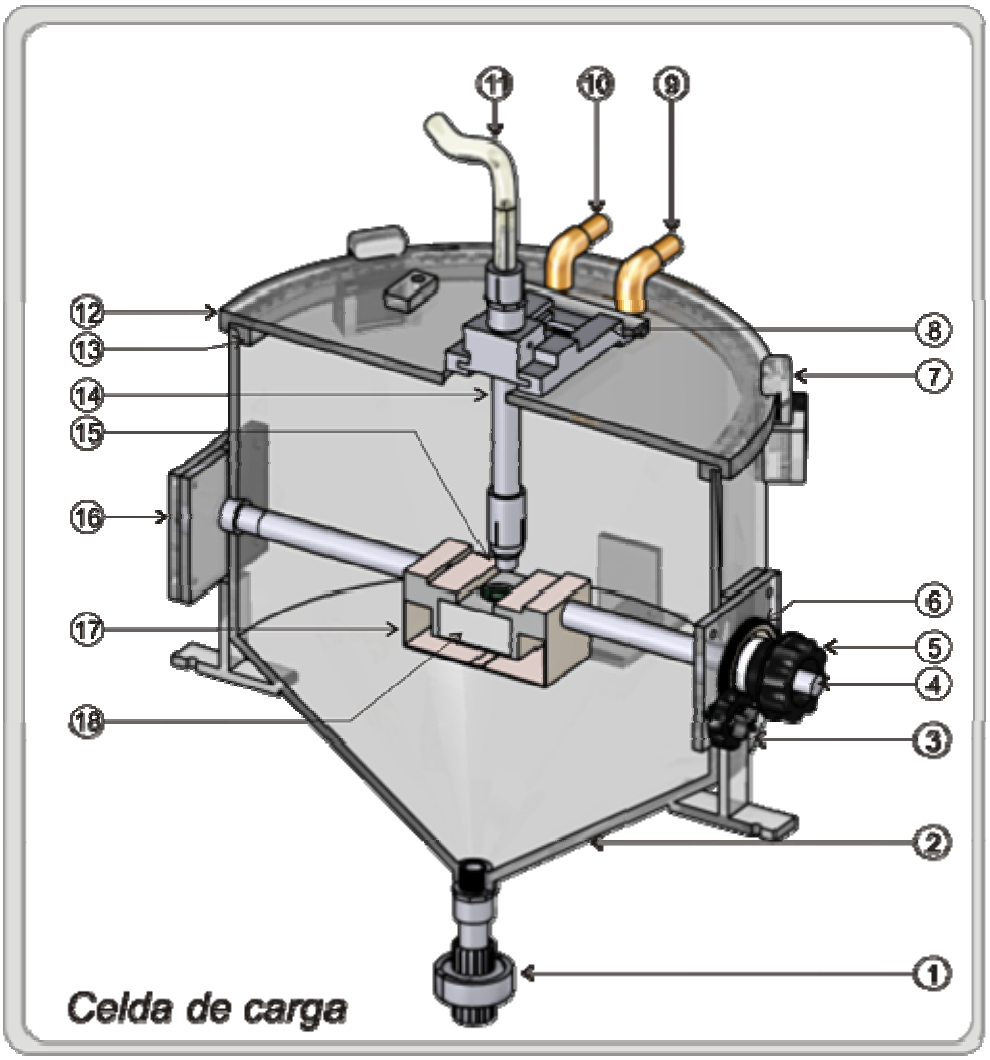
[9] Para mayor información de las dimensiones, consultar planos en el Anexo J

Figura 5. Celda de carga



Lista de partes	
Nro.	**Nombre**
1	Celda de Carga
2	Anillo de Sello
3	Tapa Celda de Carga
a	Puerto de control de nivel
b	Puerto de Evacuación

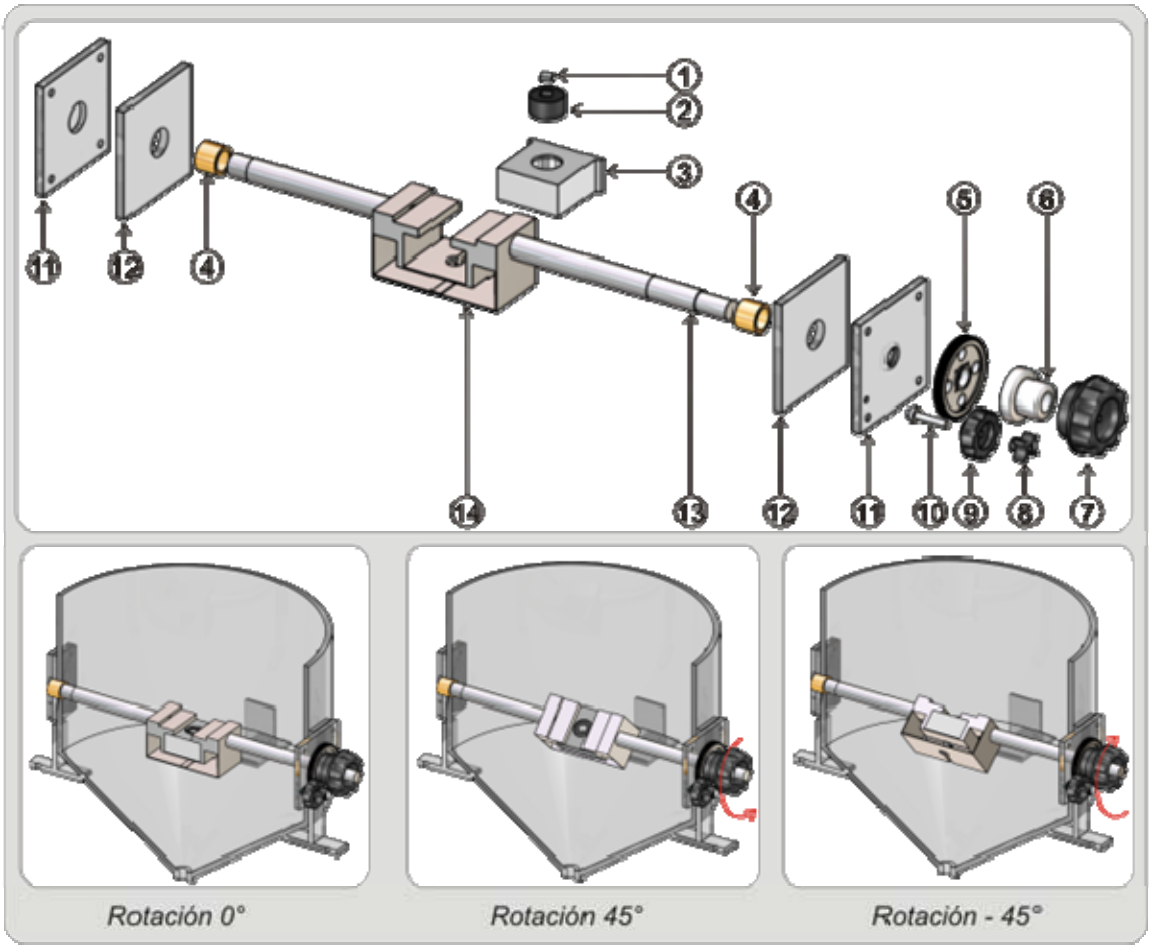
Figura 6. Celda de carga y componentes



Lista de partes			
Nro.	**Nombre**	**Nro.**	**Nombre**
1	Acople Línea Evacuación	10	Racor Entrada de Gas
2	Celda de Carga	11	Manguera de Conexión
3	Piñón Controlador	12	Tapa Celda
4	Eje	13	Anillo de Sello
5	Perilla	14	Acople Boquilla
6	Piñón Transmisor	15	Boquilla
7	Sujetador Tapa	16	Placa Retenedor
8	Deslizador Boquilla	17	Base Portaprobeta
9	Racor Entrada de Gas	18	Portaprobeta

2.3.3 Descripción del Mecanismo Portaprobetas y Variador del Ángulo de Impacto

Figura 7. Explosión mecanismo portaprobetas y variador del ángulo de impacto



Lista de partes			
Nro.	**Nombre**	**Nro.**	**Nombre**
1	Probeta	8	Sujetador
2	Recubrimiento del portaprobeta	9	Piñón controlador
3	Portaprobetas	10	Tornillos
4	Bujes	11	Placa retenedor
5	Piñón transmisor	12	Celda de Carga
6	Sujetador del piñón transmisor	13	Eje
7	Perilla	14	Base portaprobeta

El portaprobetas es un elemento diseñado y construido en acrílico, su función es contener la muestra y facilitar su ubicación dentro del mecanismo de variación del ángulo de impacto ver figuras 6 y 7.

El mecanismo de variación del ángulo de impacto está construido en materiales no conductores, en él se aloja el portaprobetas (figura 7) que permite variar el ángulo de impacto entre el eje de simetría del flujo y la superficie de la probeta entre 0º y 90º. Consta de un bloque diseñado para acoplar el portaprobetas, fabricado en acrílico, conecta directamente a un par de ejes fabricados en Duralon Nylon que deslizan sobre un par de cojinetes fabricados en Duralon Nylon de menor dureza que el del eje, cada uno ubicado en la parte lateral de la celda donde un par de retenedores garantiza el sello en la celda de carga (figura 7 -4). Un extremo del eje se articula a un par de piñones y una perilla de giro, los cuales se encuentran ubicados en la parte lateral derecha de la celda de carga. (Figura 7-(5,9))

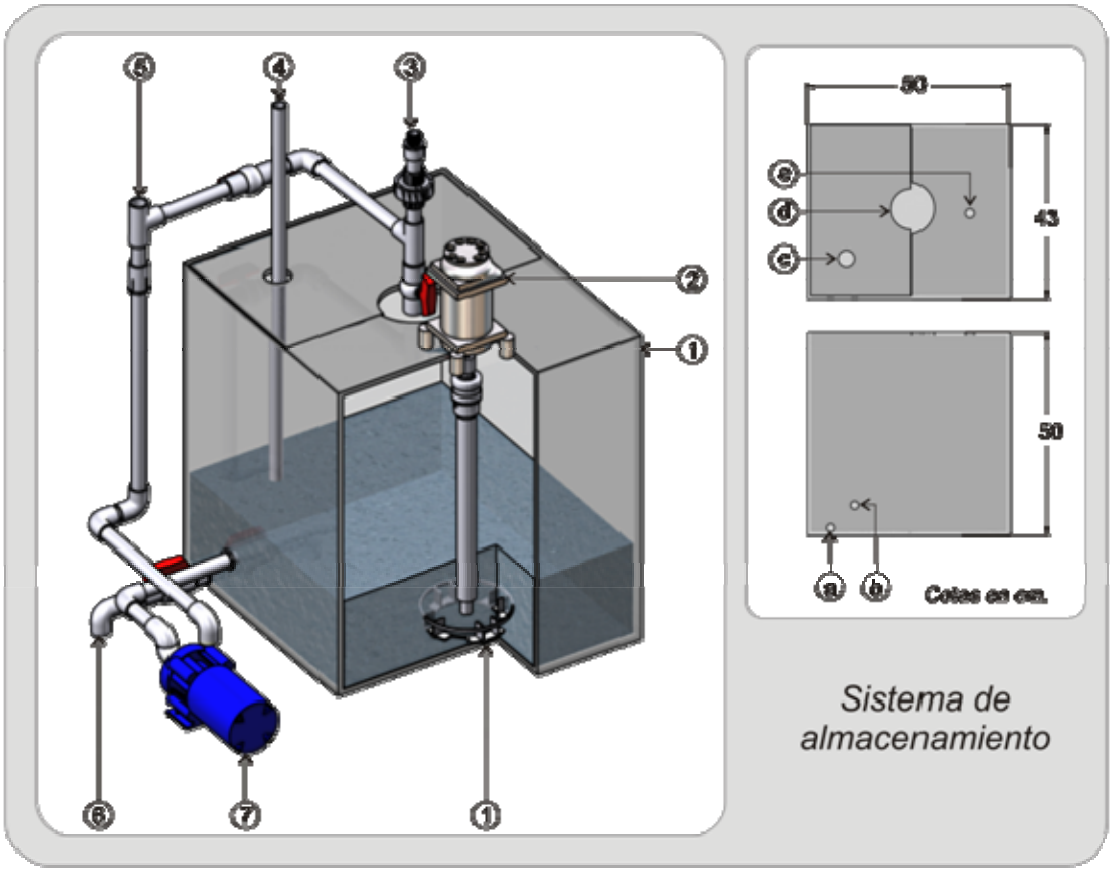
El piñón grande está sujeto directamente al eje del portaprobeta y su rotación es controlada por un piñón pequeño directamente conectado una perilla azul de graduación, que permite el giro suave del eje y fijar la posición del mecanismo, la libertad de giro depende del ajuste de la tuerca ubicada en cabeza de la perilla. La relación que maneja los piñones es de 5:1 y cumple la única función de graduar el ángulo de impacto.

2.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Tiene como función almacenar y mantener la homogeneidad del fluido para su posterior recirculación; está constituido por un tanque construido en acrílico de 8mm de espesor, tiene una capacidad de almacenamiento de 100 Litros, consta de 5 puertos para conexión de tubería o mangueras; dos de ½" en la parte inferior, uno para drenaje y uno de succión para la bomba, y los tres restantes en

la parte superior de ¾” para entradas del fluido a tanque. Está sobre puesto a la estructura de manera que puede ser movido para efectos de limpieza.

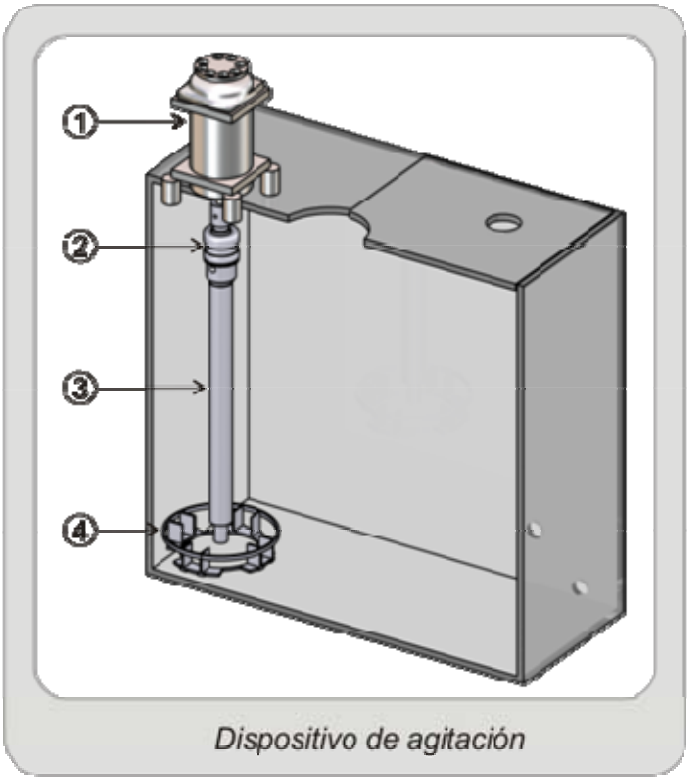
Figura 8. Sistema de almacenamiento



Lista de partes			
Nro.	**Nombre**	**Nro.**	**Nombre**
1	Tanque de Almacenamiento	a	Puerto de Desagüe
2	Agitador	b	Puerto Línea de Succión
3	Descarga Tanque	c	Puerto Línea de Descarga
4	Línea Control de Nivel	d	Puerto Descarga
5	Línea Descarga Bomba	e	Orificio Eje Agitador
6	Desagüe		
7	Bomba Centrifuga		

En la parte superior del tanque se encuentra dispuesto el *dispositivo de agitación* conformado por un motor-reductor Modelo E-600-4 de alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor, funciona a 110 V, 255 mA , gira a 180 r.p.m y en su punta consta de un mandril para acoplar el elemento de agitación. El elemento dispuesto para agitar la solución esta fabricado en Duralon Nylon consta de un eje al que se fija un aspa que remueve la solución ver figura 9.

Figura 9. Dispositivo de agitación



Dispositivo de agitación

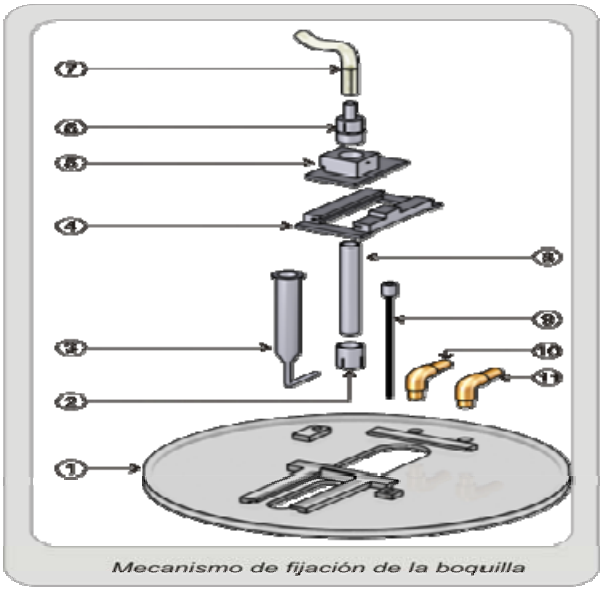
Lista de partes	
Nro.	**Nombre**
1	Motor-Reductor
2	Acople Mandril
3	Eje
4	Aspas de Agitación

2.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

La función principal de este sistema es la de permitir el transporte del fluido de trabajo. Está conformado por una bomba centrifuga con impulsor en material polipropileno seleccionado por su alta resistencia a la corrosión y la abrasión, a ella se instalan dos mangueras hidráulicas SAE 100R2A ajustadas por abrazaderas, una en la entrada de succión de la bomba centrifuga, y una a la salida de descarga, la manguera de descarga se acopla a una línea de tubería de ½" en pvc, en la cual se encuentran los dispositivos de monitoreo, posteriormente esta línea se conectan a una manguera que permite la movilidad de la boquilla de chorro sólido en el sistema de fijación.

Después del fluido hacer su recorrido por la manguera llega a un tubo (8) que aloja la boquilla. El tubo desliza en el mecanismo de fijación de la boquilla (5), que permite ubicar la boquilla sobre la muestra en la posición requerida y se localiza en la parte superior de la tapa de la celda de carga, ver figura 10.

Figura 10. Mecanismo de fijación de la boquilla



Lista de partes			
Nro.	**Nombre**	**Nro.**	**Nombre**
1	Tapa Celda	6	Racor Manguera
2	Acople Boquilla	7	Manguera
3	Portaelectrodo	9	Electrodo Referencia
4	Deslizador Boquilla	10	Racor entrada Gas
5	Base Boquilla	11	Racor entrada Gas

2.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

La función de este sistema, es la de realizar el control de encendido y apagado del banco por medio de un arrancador Telemecanique LE1D 09[10]; al mismo tiempo distribuir la potencia de los elementos eléctricos a 110 y 220 voltios. Otra de sus funciones es programar el tiempo de operación del banco según las pruebas a realizar por medio de un temporizador digital marca AUTONICS[11]; así como la de variar la velocidad de giro de la bomba centrifuga por medio de un dispositivo de variación del voltaje y proporcionar los puertos de conexión para los diferentes equipos que interactúan con el banco en las pruebas.

2.7 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Lo conforman los diferentes elementos externos e internos del banco necesario para realizar el monitoreo de las diferentes variables, tales como temperatura, presión, flujo del sistema y la variación de la resistencia del material a medida que pierde masa.

[10] Para mayor información ver capitulo 3 Diseño del sistema de control.

[11] Para mayor información, ver anexo G

Elementos de medición interna:

- Rotámetro marca King, serie 7520 con conexión ½" NPT en PVC. Tubo en acrílico e interconectores en S-316, capacidad 0-5 GPM.
- Manómetro estándar para tubería. Rango de medida de 0 a 15 psi
- Termómetro estándar para tubería. Caja y aro en acero inoxidable, rango de temperatura 0+150°C, elemento sensor tira bimetalica.

Elementos de medición externa:

- Potenciostato – galvanostato, marca Princeton, modelo 363. Es el encargado de realizar la medición de las pruebas electroquímicas. Este es un equipo complementario al banco, por ende, se debe tener especial cuidado en la conexión con dicho dispositivo.
- SCAP363.Sistema de control y adquisición de datos para el P363

3. DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL *SPEVCEM2742* BANCO PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN-EROSIÓN

El concepto general de diseño del banco de pruebas, resulta en una estructura única e independiente de fácil manejo y transporte; partiendo de la definición de requerimientos de naturaleza funcional, económica, ergonómica y espacial, tales como:

- Los materiales y equipos seleccionados para la construcción del equipo deben ser de alta resistencia a la corrosión, a la erosión, que garanticen la vida útil de los equipos y sistemas que conforman el banco.

- Debe permitir variar la velocidad del fluido y el ángulo de impacto sobre la probeta, al igual que controlar el tiempo de duración de la prueba.

- Permitir visualizar las diferentes variables a medir; ser de fácil operación y control.

- Debe garantizar la realización de las pruebas y análisis electroquímicos.

- Para el desarrollo de la prueba se debe vincular otros accesorios complementarios al banco de pruebas, tales como potenciostato, computador, etc. Por tal razón se debe implementar una estrategia de conexión para dichos dispositivos.

- El diseño del banco debe tener en cuenta lineamientos económicos que permitan criterios de viabilidad en su construcción.

- Se debe tener en cuenta requerimientos ergonómicos que requieran una optima geometría.

- Se deben tener en cuenta criterios de estética en el momento del diseño del banco de pruebas.

- El espacio ocupado por el banco debe concordar con el espacio disponible en el laboratorio de tribología y superficies para garantizar comodidad y libertad de movimiento a quien opere el banco.

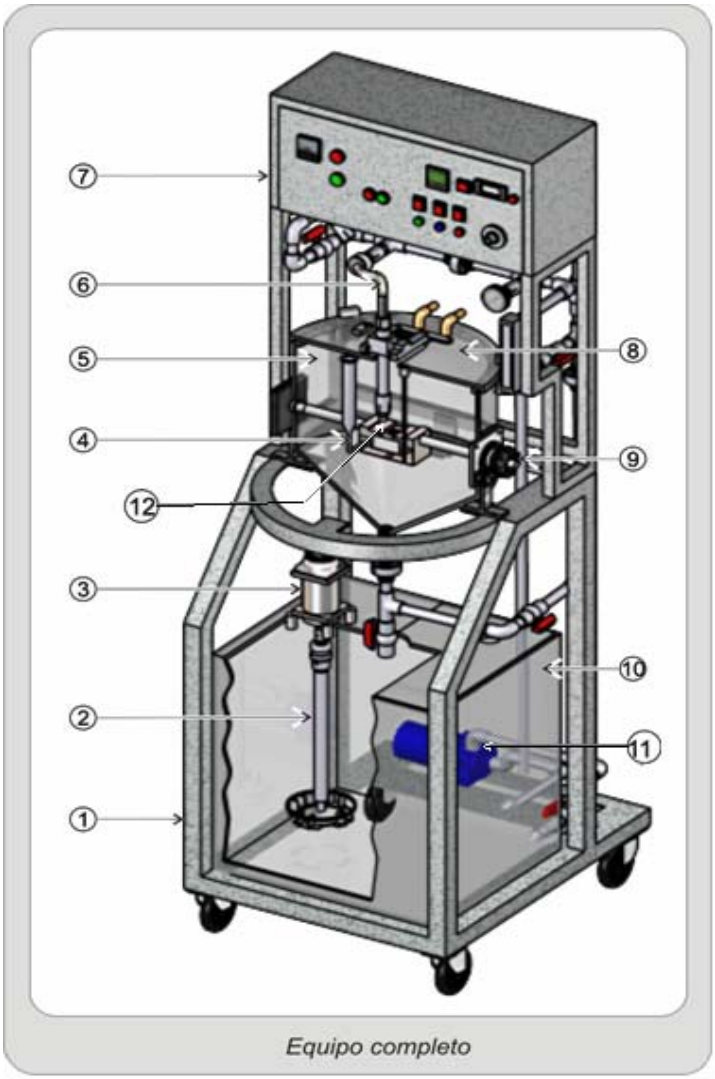
Una vez realizada la definición de los requerimientos para el óptimo diseño del banco de prueba para evaluar la corrosión-erosión en materiales, se establecen los módulos y sistemas de los cuales pueden estar compuesto el banco tal como se muestra en el cuadro 1, cumpliendo con los requisitos exigidos por la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*, siendo acorde con las exigencias impuestas por el trabajo a realizar y el presupuesto acordado. El aspecto final del diseño se muestra en la figura 11.

El banco de pruebas consta de:

Cuadro 1. Módulos y sistemas del *SPEVCEM2742*

MÓDULOS	SISTEMAS
• Estructura	Soporte de la celda de carga
	Soporte del tanque
• Celda de Carga	Mecanismo de Variación y fijación del ángulo de impacto
	Drenajes
	Mecanismo de fijación boquilla
• Tanque de Almacenamiento	Drenajes
	Dispositivos de agitación
• Módulo de Transporte del Fluido	Bomba centrifuga
	Línea de flujo(Tubería,válvulas,mangueras)
	Boquilla
• Módulo de Control	Tablero de control
	Elementos de monitoreo

Figura 11. Equipo *SPEVCEM2742*



Equipo completo

Lista de partes equipo SPEVCEM2742			
Nº	Nombre	Nº	Nombre
1	Estructura	7	Caja de control
2	Eje	8	Tapa Celda de Carga
3	Motor-Reductor Dispositivo de Agitación	9	Mecanismo Variador de Ángulo
4	Mecanismo Portaprobeta	10	Tanque de Almacenamiento
5	Celda de Carga	11	Bomba centrifuga
6	Línea Conexión Boquilla	12	Boquilla(Acero inoxidable 4mm-1/2 “)

3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Como punto de partida para el diseño de la estructura se toma la estatura promedio en Colombia[12] (1.68 cm), con el objeto de permitir al operario visualizar las diferentes variables a medir; ser de fácil operación y control. Garantizando que los diferentes elementos contenidos en la caja de control y elementos de monitoreo que requieren lectura inmediata se encuentran en el horizonte óptico.

Para su construcción se utilizó perfil tipo cuadrado de 1" ½ de acero inoxidable tipo S-304, y un espesor de 3mm; las uniones de esta estructura se realizaron con soldadura de arco eléctrico y electrodo AWSE308L-16[13]; el acero inoxidable fue seleccionado por requerimientos de resistencia a la corrosión más no de carga, lo cual evita la oxidación producida por el medio ambiente y por el contacto con el fluido de trabajo. Esta estructura brinda la resistencia y rigidez suficientes para garantizar un óptimo funcionamiento. Su selección fue hecha con base en parámetros de operación y no de carga.

3.2 DISEÑO CELDA DE CARGA

Está construida en lámina de acrílico de 8mm de espesor, con respecto al acrílico no se poseen datos debido a que el trabajo se realiza de forma artesanal, su selección obedece a parámetros de construcción más no de carga. Se toma de 8mm debido a que nos brinda una mayor área de contacto en las uniones realizadas mediante resina. Con respecto al material este fue seleccionado por su buena resistencia a la corrosión, y debido a que la velocidad de erosión y corrosión es determinada a través de técnicas electroquímicas, el material de

[12] Información extraída del artículo ¿Cuánto crecieron los colombianos en el siglo XX?, articulo que se pude encontrar en la página: www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/pdf/58.pdf

[13] Ver anexo C. Cuadro 1 propiedades mecánicas del material depositado

construcción no podía ser conductor ya que provocaría errores en las mediciones del potenciostato. Para el proceso de construcción se realizó termo-formado del cuerpo del cilindro y de la tolva, unido mediante resinas; su dimensión fue un resultado de ensayos experimentales con el fin de disminuir la aceleración del fluido dentro de la tolva al impactar el chorro, confina un volumen de 37 litros, lo cual nos da un peso aproximado de 40 kg. Presenta cuatro apoyos en su parte inferior, para el montaje en la estructura a través de tornillos de 5/8".

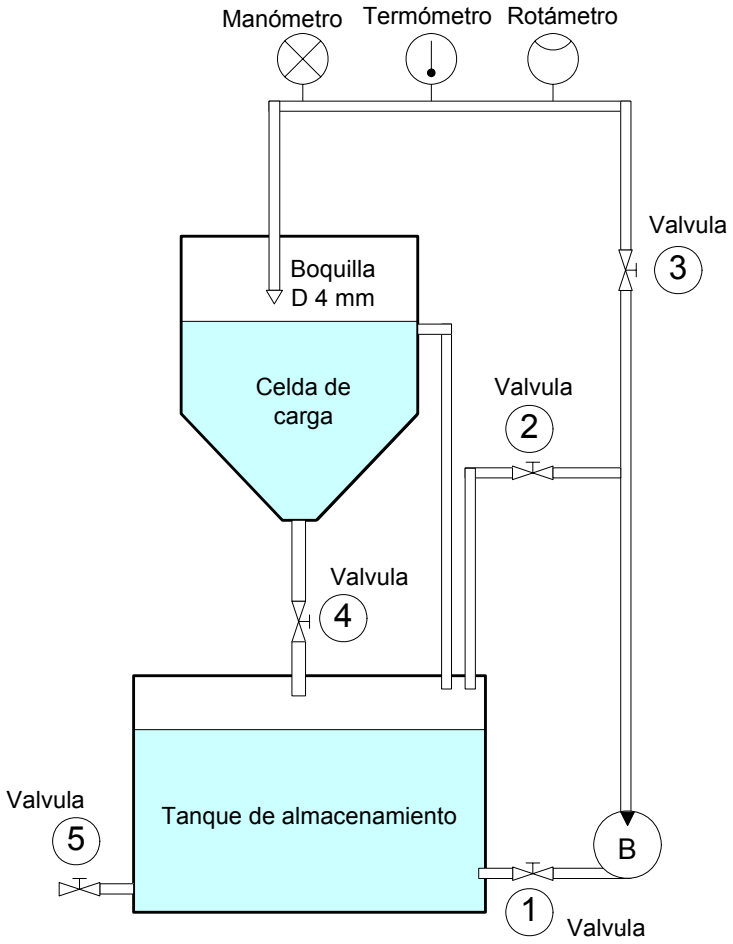
3.3 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Está construido en lámina de acrílico de 8mm de espesor, unión mediante resinas, se selecciona el acrílico por su buena resistencia a la corrosión y por recomendaciones del fabricante, tiene una capacidad de almacenamiento de 100 litros, mas sin embargo se trabaja con aproximadamente 50 litros, lo cual nos da un peso aproximado de 53 kg. El proceso de diseño se somete al proceso de construcción del tanque, ya que las piezas son unidas con resina, de la cual se desconocen sus propiedades. Se realizó una prueba de integridad de uniones en el recipiente que garantiza la capacidad de estanqueidad en las uniones. Además nos permite la sujeción del equipo de agitación sin afectar la integridad del tanque.

3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA

Teniendo en cuenta en las especificaciones de carga y capacidad requeridas y, adicionalmente, teniendo en cuenta que se necesita un sistema con flujo sostenido y una bomba que sea adaptable a las variaciones inherentes al sistema, generadas por la variación de la columna de líquido contenida en el tanque, se selecciona una bomba centrífuga cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo F.

Figura 12. Esquema circuito Hidráulico.



3.4.1 Capacidad Requerida

El cálculo del caudal o capacidad requerida se determina teniendo en cuenta la necesidad más crítica del sistema, que era una velocidad de impacto del flujo de 6 m/s sobre la cara plana de la probeta.

Por medio del área del orificio de salida de la boquilla seleccionada y con la velocidad de impacto requerida se determina el caudal máximo requerido por el sistema.

$$D = 4mm \qquad A_{Boquilla} = \pi \frac{D^2}{4} = 1.26 \times 10^{-5}$$

$$Q_{Salida} = V \times A_{boquilla} = \pi \frac{D^2}{4} V = 7.56 * 10^{-5} \; m^3/s$$

$$Q = 1.2 \; gal/\min$$

3.5 SELECCIÓN DE LA BOMBA

3.5.1 Cabeza teórica de la bomba

Para determinar la cabeza teórica de la bomba se utiliza la ecuación de Bernoulli (1) modificada, teniendo en cuenta las perdidas mayores o aquellas que se producen por longitud de tubería y las perdidas menores producidas por las diferentes clases de accesorios conectores de la tubería del sistema.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f + h_l \quad (1)$$

3.5.2 Cálculo tipo de pérdidas en tuberías ΔP_L

Los cálculos de pérdidas en tuberías se hicieron según su clasificación de pérdidas menores y pérdidas por fricción. Para el cálculo de las caídas de presión o pérdidas por longitud de tubería, se utilizo la fórmula de Darcy-Weisbach (2), ya que es aplicable a todo tipo de líquido y regimenes.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

h_f → Factor de pérdidas de carga por longitud de tubería (fricción)

f → Factor de fricción

v → Velocidad media del líquido en la tubería

L → Longitud recta de la tubería

D → Diámetro de la tubería

Al utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach, se empleo la ecuación (3) para determinar el factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left\{\log\left[\left(e/3.7D\right)+\left(5.74/\mathrm{Re}_D{}^{0.9}\right)\right]\right\}^2} \quad (3)$$

Donde:

f → Factor de fricción.

e → Variación promedio del radio de la tubería, es decir, una medida de la rugosidad de la tubería.

D → Diámetro de la tubería.

Re_D → Numero de Reynols.

La cual es válida para los rangos.

$$5\times10^3 \le \mathrm{Re} \le 10^8$$

$$10^{-6} \leq \left(\frac{e}{D}\right) \leq 10^{-2}$$

Para determinar el factor de fricción se calculó el número de Reynolds según la fórmula:

$$\mathrm{Re} = \frac{4\delta \mathrm{Q}}{\pi \mu \mathrm{d}}$$

Las pérdidas menores o pérdidas de altura a través de los diferentes accesorios conectores como, codos, válvulas, etc. se hallaron utilizando la formula (4):

$$h_l = \Sigma\left[K_i \frac{v^2}{2g} \right] \quad (4)$$

Donde:

h_l → Factor de perdidas menores.

K_i → Coeficiente de perdidas menores.

v → Velocidad media del líquido en la tubería.

g → Aceleración de la gravedad.

A continuación se presenta cada uno de los resultados determinados para realizar la selección de la bomba.

3.5.3 Parámetros de entrada

Caudal; Qb=1.2 GPM

Rugosidad de la tubería; e=1.5*E-5m

Diámetro interior de la tubería; D=18.034E-3m [14]

Viscosidad cinemática; v=1.2E-6 m2/s

Densidad; 1026 Kg. /m3

Velocidad de Salida; Vs= 8 m/s

Z1= 0.4m

Z2=1.3m

3.5.4 Resultados de cálculos

Numero de Reynolds; Red= 14872.79

Factor de fricción; f= 2.954*10-2

Perdidas mayores; hf= 0.245m

Perdidas menores; hl= 0.7m

Cabeza teórica de la bomba; Hb=5.1m

De los cálculos anteriormente realizados, se seleccionó la bomba centrifuga de transmisión magnética marca MARCH[15] serie MDX, la cual maneja un caudal máximo de 7.6 GPM y una cabeza máxima de 19 pies; potencia del motor de 1/25 HP y 3400 RPM. La misma cumple con los requerimientos del sistema, ver figura 13.

Figura 13.Electrobomba seleccionada

[14] Tubería, Válvulas y accesorios ½" PVC elementos seleccionados para transporte del fluido.

[15] Ver anexo F, curva de operación y especificaciones de la bomba.

3.6 SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE MEDICIÓN O MONITOREO

Rotámetro: para la selección de este elemento los requerimientos son el caudal requerido por el sistema y que sus elementos de construcción fueran materiales resistentes a la corrosión. Por lo tanto se selecciona el rotámetro marca King, serie 7520 con conexión ½" NPT en PVC. Tubo en acrílico e interconectores en S-316, capacidad 0-5 GPM.

Manómetro: Para la selección de este elemento los requerimientos es la presión que se genera en el sistema (7.5 psi máxima) y la resistencia a la corrosión. Por tanto se selecciono un manómetro estándar en acero inoxidable con un rango de presión de 0 – 15 psi.

Termómetro: Para la selección de este elemento los requerimientos es la temperatura de la solución de trabajo, la cual es permisible hasta 40°C y la resistencia a la corrosión. Por tanto se selecciono un termómetro estándar de caja y aro en acero inoxidable, rango de temperatura 0+150°C, elemento sensor tira bimetalica.

3.7 SELECCIÓN DE LA BOQUILLA

La boquilla de chorro sólido seleccionado es la 2U 316SS 00150 de Spraying System diámetro de salida 4 mm y garantiza una corriente uniforme por un orificio cilíndrico. Las nuevas boquillas de chorro sólido se han mejorado mediante dimensiones y contornos adecuados en la cámara de entrada, por encima del orificio de estabilización del chorro. Estas boquillas proporcionan una prolongada estabilidad del chorro sólido y retrasan el comienzo de la dispersión y de la formación de gotas después de salir por el orificio de la boquilla

Figura 14. Boquilla Chorro Solidó

3.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL *SPEVCEM2742*

3.8.1 Diseño eléctrico

Para la ejecución de este diseño se partió de la definición de los siguientes requerimientos:

- El sistema de control debe tener una localización conveniente, que facilite la visualización y operación de los controladores..
- Debe tener una excelente accesibilidad para realizar las labores de mantenimiento.
- Uso de normas técnicas para instalaciones eléctricas.
- Debe ser un diseño económico y eficiente.

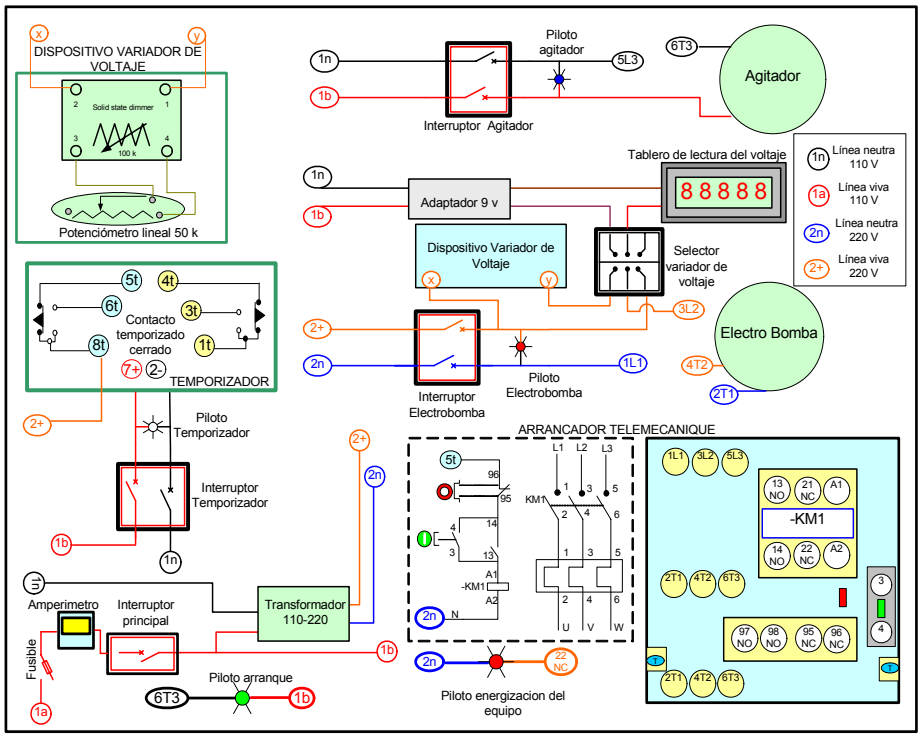
Una vez definido los requerimientos se siguieron los siguientes pasos para el diseño del sistema de control.

- Diseño del circuito de lógica cableada para el banco.
- Selección de los diferentes elementos eléctricos necesarios para la ejecución de la lógica cableada.
- Diseño de la caja de control.
- Definición del la posición de cada elemento dentro y fuera de la caja de control.

- Diseño del plano de montaje y conexión.

Circuito de lógica cableada: Este diseño obedece a la secuencia de pasos que hay que realizar para la puesta en funcionamiento del banco: la energización del circuito, programación del tiempo de prueba y selección de la velocidad. Ver figura 15

Figura 15.Circuito de lógica cableada



3.8.2 Selección de los elementos eléctricos

El diseño de la lógica cableada y el sistema de control inicia con la idea de operar el equipo en cualquier laboratorio o salas de investigación, de manera que al alimentar el equipo con una fuente de110 Voltios se responde a la necesidad y se establece un punto de partida para selección de los componentes del sistema de control.

Seguidamente procedemos a la selección de los diferentes dispositivos y elementos eléctricos necesarios para la ejecución de la secuencia lógica.

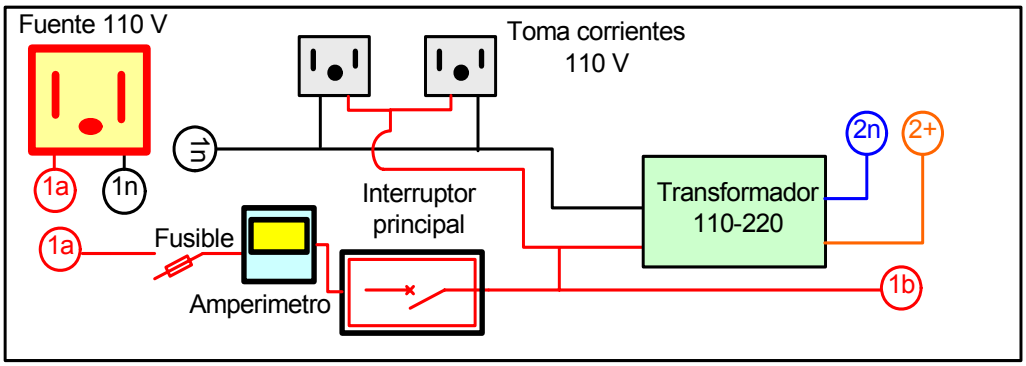
Amperímetro: Se selecciono un amperímetro Techman rango de 0-5 Amp TP670 teniendo en cuenta el amperaje máximo, el cual es la suma del amperaje consumido los dos motores, el de la electrobomba y el agitador ya que estos representan las resistencias a considerar en el equipo y es mucho menor a 2 AMP.

Interruptores: Se seleccionaron interruptores marca RIEL medianos de fácil operación, de dos puestos y rango de voltaje entre 110 y 220 voltios y amperaje de 16 y 10 AMP.

Fusibles: Según la resistencia de los equipos se utiliza un fusible de 1 AMP.

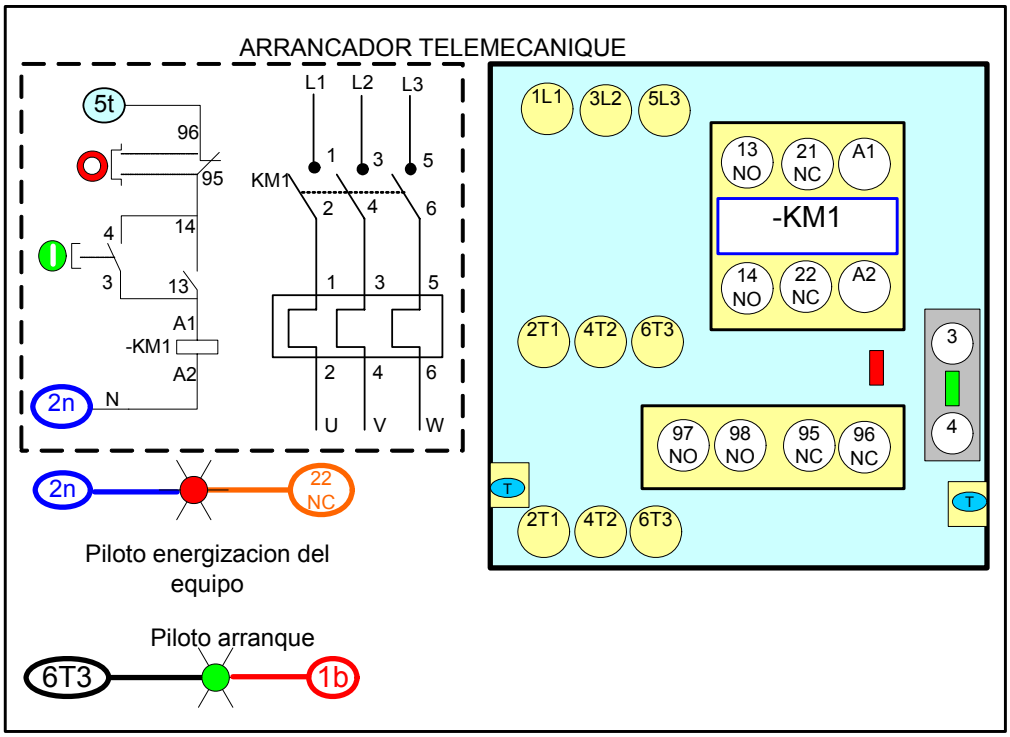
Transformador: El transformador es un elemento que se hizo necesario por las exigencias de la electrobomba. Eleva la tensión de 110 a 220 voltios, opera 50HZ-60HZ y 200W máx., lo que garantiza la alimentación correcta de la electrobomba.

Figura 16. Esquema eléctrico de alimentación 110V y 220V



Arrancador y paro de emergencia: Para estas operaciones utilizamos un arrancador directo sin rele térmico, con una corriente máxima de 9 amp, contactor con bobina de 220 vac (50/60hz), todo en un recinto de policarbonato con push-buttons de prendido y apagado. (Ver esquema eléctrico figura 17)

Figura 17. Esquema eléctrico arrancador telemecanique LE1DO9M7



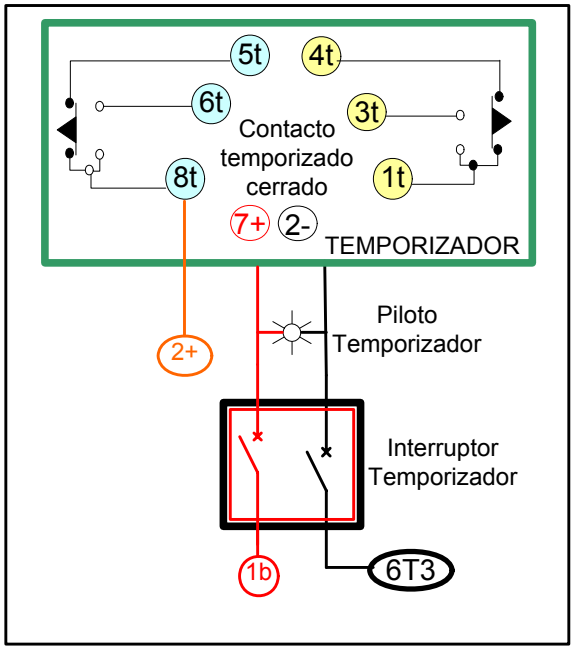
Temporizador[16]: Para la selección de este elemento se plantean dos requisitos: que fuera de fácil operación y que permitiera un control de tiempo de 6 horas. Que es el tiempo de operación máximo en el que funcionará el equipo.

Con los requisitos ya establecidos pasamos a la selección de este elemento, optándose por el Temporizador DIGITAL 8 PINES MARCA AUTONICS Ref: LE4SA con un común y dos contactos (NC+NA). El cual permite un control del

[16] Para mayor información, consultar el Anexo G

tiempo de prueba desde 0.01 seg.- 9.999 horas, 4 dígitos Ldc *back Light*, alimentación de 240 Voltios. Incluye base soporte para puerta.

Figura 18. Esquema eléctrico del temporizador.



Dispositivo variador de velocidad: Se estableció para regular la velocidad de giro del motor de la bomba, según los parámetros de ensayos. Equivale a un variador de voltaje, lo forma un dispositivo de elementos electrónico como es un Dimmer el cual interactúa con un potenciómetro lineal de 50 K de 10 vueltas ; equipado con una perilla que permite variar los datos nominales de tensión del motor, además esta compuesto de un adaptador 9v 800mA 110V NIMWA, un panel LCD 4 dígitos.

Figura 19. Esquema eléctrico control de electrobomba.

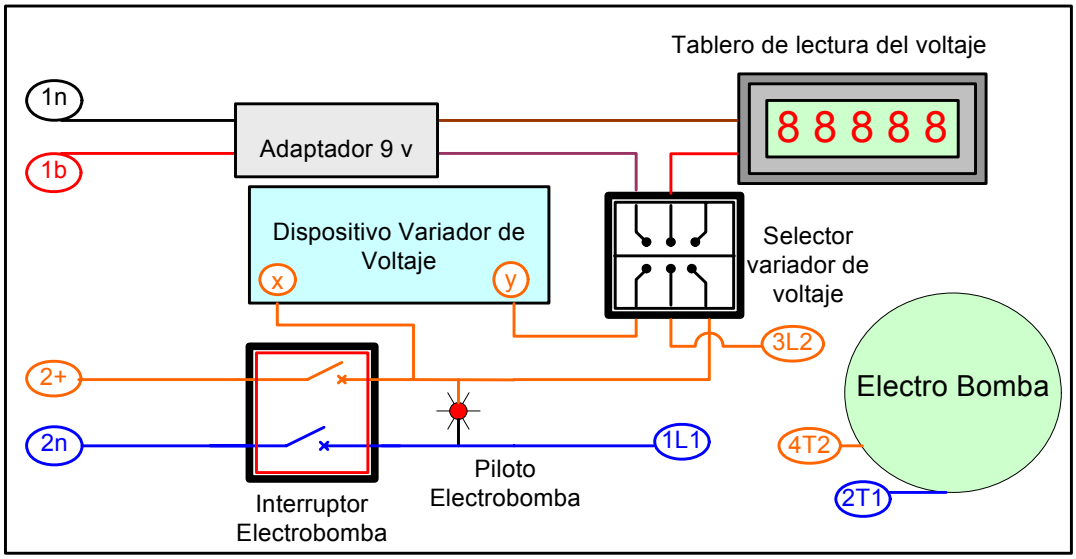


Figura 20. Esquema eléctrico del dispositivo variador de velocidad.

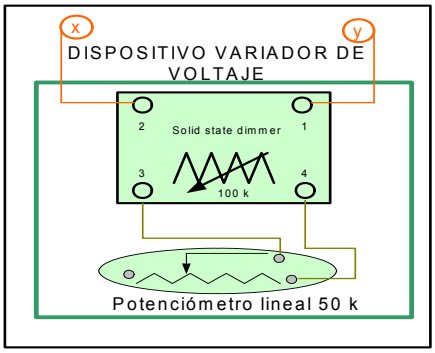
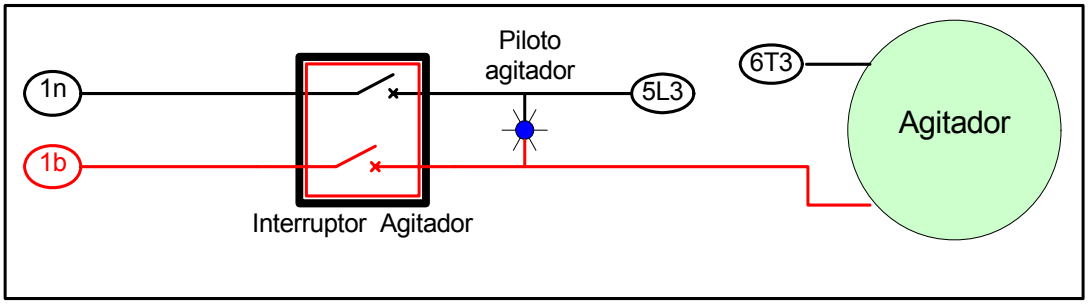


Figura 21. Esquema eléctrico control



agitador.

Diseño de la caja de control: a partir del análisis de los requerimientos se planteó el diseño de la caja de control, con las siguientes dimensiones:

- Alto: 22 cm.
- Largo: 58 cm.
- Ancho: 20 cm.

Estas medidas aseguran la facilidad de acceso para realizar las labores de mantenimiento.

La caja de control se encuentra ubicada en la parte superior de la estructura, paro lo cual se tuvo en cuenta la estatura promedio en Colombia, que es 1.68m.[17]; permitiendo la fácil visualización de los diferentes accionamientos eléctricos y elementos de control.

[17] Información extraída del artículo ¿Cuánto crecieron los colombianos en el siglo XX?, articulo que se pude encontrar en la página: www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/pdf/58.pdf.

4 MANUAL DE USUARIO EQUIPO *SPEVCEM2742*[18]

4.1 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

4.1.1 Advertencias

4.1.2 Atención

4.2 INSTRUCCIONES DE MANEJO

4.2.1 Descripción del SPEVCEM2742

4.2.2 Control de operación del equipo

4.2.2.1 Operación del Tablero de control SPEVCEM2742
4.2.2.2 Modo de funcionamiento y operación
4.2.2.3 Ajustes de variables
4.2.2.3.1 Velocidad de impacto sobre la muestra
4.2.2.3.2 Angulo de impacto
4.2.2.3.3 Tiempo de prueba

4.2.3 Equipos adicionales

4.2.3.1 SCAP363

4.3 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

4.3.1 Limpieza Después De Pruebas

4.3.2 Mantenimiento Periódico del Equipo

[18] Todo el capitulo cuarto esta contenido en Manual de usuario SPEVCEM2742.Anexo H

5. DESARROLLO DE PRUEBAS

Para verificar el funcionamiento de la máquina bajo condiciones de operación se realizaron cuatro pruebas Tafel[19] completas, una sin chorro y otra con impacto por chorro, haciendo un barrido de +/- 250 mV desde el potencial de circuito abierto, por medio de un potenciostato Princeton modelo 363 y el sistema de control de adquisición de datos para el p363[20] empleado para realizar las medidas electroquímicas. Figura 22

Se mantuvo el equipo *SPEVCEM2742* en funcionamiento durante un periodo de 7 horas verificando de esta manera que no presentara ningún inconveniente durante el tiempo máximo de operación. Figura 23

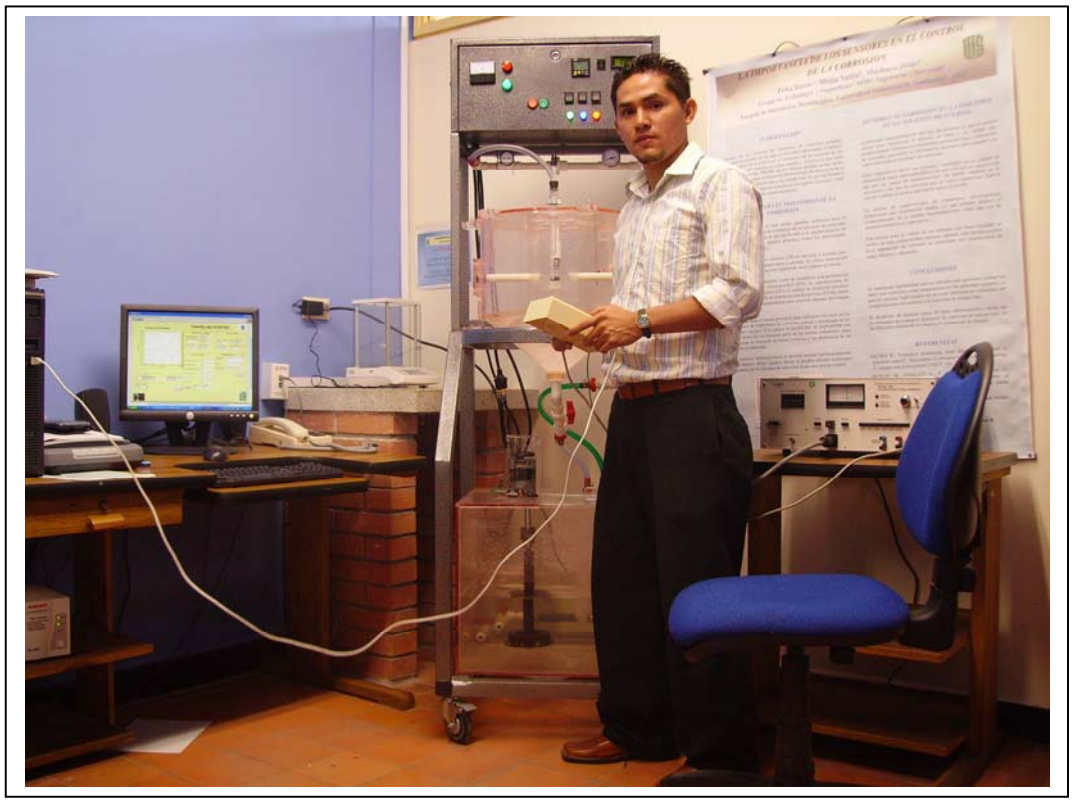
Figura 22.Equipo SPEVCEM2742

[19] Para mayor información, consultar el Anexo D

[20] Ver ZABALA S. y MONROY D. Repotenciación y actualización de un Potenciostato-Galvanostato Princeton 363 para el Laboratorio de Corrosión de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2005.

5.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL[21]

Figura 23.Equipo SPEVCEM2742 en operación.



Diseño de las pruebas

Para las pruebas se seleccionó un acero AISI 4140 en una mezcla ácida salmuera, y para la determinación de las velocidades de corrosión se realizaron pruebas Tafel completas.

[21] Ver Anexo E Ejemplo de pruebas experimentales electroquímicas. Determinación de la velocidad de corrosión de latón al aluminio en agua potable.

Preparación de las probetas

Las probetas antes de cada prueba fueron preparadas superficialmente con papel esmeril grado 360, 400, 600 hasta 1200, se enjuagaron con agua desionizada y luego con alcohol, finalmente se secaron, todo lo anterior siguiendo las especificaciones de la norma ASTM G1-90.

Preparación de la solución

La solución fue preparada con agua desionizada y cloruro de sodio, NaCl al 3.5% en peso, y su pH estuvo entre 6.49 y 6.06. Dicha solución se preparó con agua desionizada para mantener un mejor control de los iones presentes y evitar la posible formación de productos de corrosión diferentes a los producidos por la interacción con la mezcla.

5.2 CONCLUSIONES ENSAYOS TAFEL

En la figura 24 se presentan las curvas de polarización anódica y catódica de las muestras de acero AISI 4140 expuestas al chorro y de la muestra sin exposición al chorro.

En esta grafica se observa un pequeño desplazamiento hacia arriba y hacia la izquierda de las curvas obtenidas para la muestras expuestas al chorro con relación a la estática (sin chorro), indicando que la estática (sin chorro) presenta menor potencial de corrosión y una densidad de corriente menor, y por lo tanto una menor velocidad de corrosión.

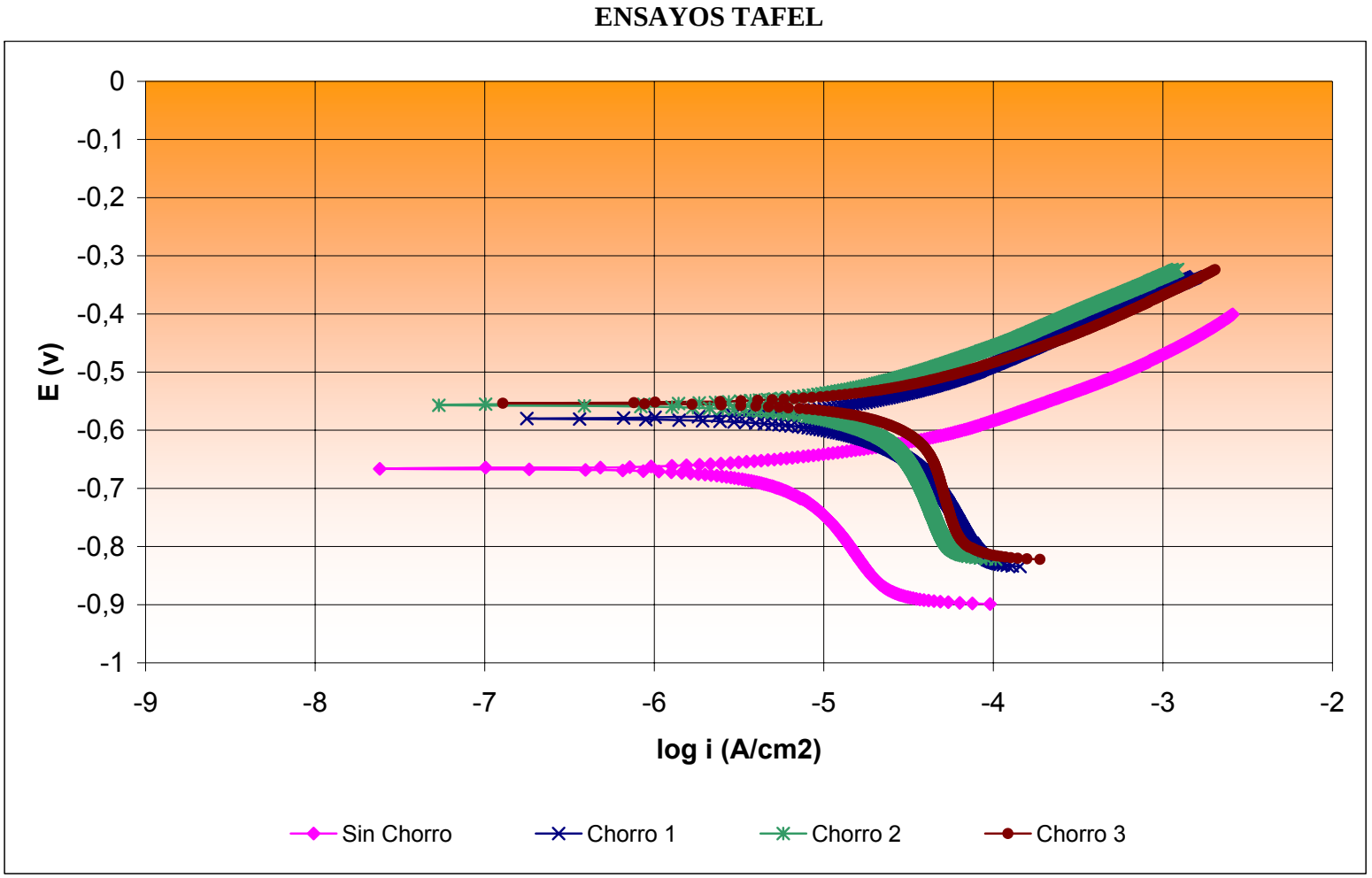
En la misma figura, se puede observar que el comportamiento para ambas muestras difiere un poco en ambas regiones: anódica y catódica (parte superior e inferior de la curva, respectivamente). Las densidades de corriente asociadas a

un mismo potencial son siempre menores para la muestra sin impacto por chorro comparadas con las de las muestras expuestas a impacto, dicha diferencia parece mantenerse constante en la región anódica. En la región catódica esta diferencia en las densidades de corriente entre ambas muestras se hace cada vez menor al llegar al potencial de corrosión de ambas muestras.

La figura 24, también muestra una pequeña similitud en el comportamiento de las dos muestras en la región catódica; las diferencias significativas se observan en la región anódica. En ella las densidades de corriente de intercambio para un mismo potencial son siempre menores para la muestra sin impacto, comparadas con las de las muestras expuestas, demostrando que posee una menor velocidad de corrosión.

En general la maquina demostró que tiene un buen control del chorro sobre la superficie, lo cual se reflejo en las curvas Tafel donde se observo la influencia de la velocidad del chorro sobre la velocidad de corrosión.

Figura 24. Resultados Pruebas de Corrosión-Erosión



CONCLUSIONES

El cumplimiento del objetivo general del presente proyecto, mediante el diseño y la construcción del equipo, demuestra la disposición y la colaboración sustentada en acuerdos interdisciplinarios de las Escuelas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.

El diseño y construcción del equipo proporciona al *Grupo de Tribología y Superficies,* a los estudiantes de maestría y proyecto de grado de la *Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales* y a la *Universidad Industrial*, en general, una herramienta que permite evaluar, a través de técnicas electroquímicas, los efectos de la velocidad de flujo y ángulo de impacto sobre la resistencia a la erosión-corrosión de diferentes materiales sobre la base de ensayos en el laboratorio.

El equipo construido permite la interacción con cualquier tipo de potenciostato-galvanostato, además su flexibilidad para controlar los tiempos de operación (0 -7 horas máximas), el rango de la velocidad (7 m/s máxima- 2 m/s mínimo monitoreable)de impacto de chorro que desarrolla, la calidad y disposición de los elementos que lo constituyen, garantiza que en el equipo se puedan ejecutar cualquier tipo de prueba electroquímica donde se evalúe la velocidad de corrosión y perdida de masa por erosión en muestra metálicas expuestas a soluciones salinas.

Los resultados de las pruebas electroquímicas realizadas para la puesta apunto del equipo indican que la velocidad de corrosión aumenta considerablemente cuando se utilizó una velocidad de impacto de 6 m/s. Esto se observó con el aumento de la densidad de corriente y con el desplazamiento del potencial de corrosión hacia potenciales más nobles, dándole valides a nuestro trabajo de

grado y la satisfacción a nuestros patrocinadores de adquirir un nuevo equipo que entra a fortalecer el campo de la investigación.

Las investigaciones desarrolladas en el presente equipo darán origen a soluciones que ayudaran a reducir costos en las área de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo del sector industrial y, además, contribuirá con el fortalecimiento de la docencia de la escuela *de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*. Consolidando así, la mutua y continúa colaboración de las escuelas de *Ingeniería Mecánica* e Ingeniería Metalúrgica en la investigación y desarrollo de equipos para el estudio de las propiedades de los materiales.

Destacando la importancia de la interacción entre los diversos conocimientos y campos de la ingeniería adquiridos, como lo son el diseño de máquinas, la mecánica de fluidos, los buenas prácticas de mantenimiento, los procesos de manufactura , el diseño asistido por computador CAD y el continuo apoyo brindado por docentes, técnicos y auxiliares de laboratorios ; es lo que conduce a la concepción y exitosa finalización de proyectos como el presente; todo esto apuntando a motivar el espíritu académico e, investigativo de los futuros profesionales egresados de la universidad.

BIBLIOGRAFÍA

ASME- American Society for Testing Materials. Standard practice for Exposure of Metals and Alloys by Alternate Immersion in Neutral 3.5% Sodium chloride solution. In Annual Book of ASTM Standards Vol. 03.02, ASTM Philadelphia, PA, 2003, pp. 180-183.

B. E. A. Jacobs and J. Boothroyde, Pipe wear testing 1976-1977, En: L. Gittins (ed.), Wear in Slurry Pipelines, BHRA Information Series, Number 1, BHRA Fluid Eng. Cranfield, Bedfordshire, 1980, pp. 50-87.

CHAMPION, Frederick. Ensayos de corrosión. Segunda edición. España: URMO. 1970. 468p

CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios Y Tuberías. Segunda edición. México: McGraw Hill, 1989. 215p

ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. México: Limusa Noriega Editores, 2000. p.17,19.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Bogotá. ICONTEC, 1998. 23 p. (NTC 4490)

Irving H. Shames. Mecánica de fluidos. Tercera edición. Colombia: McGraw Hill, 1995. 850p.

J. B. Zu, I. M. Hutchings and G. T. Burstein. Design of a slurry erosion test rig. En Wear, 140 (1990) 331-344.

M. A. Barcia Vico, S. Simisom. Erosión–corrosión de latón al aluminio. Influencia de las propiedades mecánica. Investigación Universidad Nacional de Mar del Plata Argentina. 2001

MAT WEB. OVERVIEW MATERIAL PROPERTY DATA. [En línea] URL: <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=O5602> (consulta: 14 febrero, 2007)

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México DF. Prentice Hall – Pearson Editores. 1999.

QUIROGA RODRIGUEZ, Néstor Gabriel. Diseño y construcción de una maquina para ensayos de susceptibilidad a la corrosión bajo tensiones tipo constante. Bucaramanga. 2003. 252 p. Tesis (Ingeniero mecánico). Universidad Industrial de Santander.

TERÁN PÉREZ, Gabriel. Diseño y construcción de un equipo de laboratorio para pruebas de corrosión-erosión. En: TERCER CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA (14ª: 2004: Barranquilla). Ponencias del III congreso internacional de ingeniería mecánica. Barranquilla: Universidad del Norte: 14 p.

ANEXOS

ANEXO A. NORMA ASTM G1

Designation: G 1 – 90 (Reapproved 1999)$^{\epsilon 1}$

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens[1]

This standard is issued under the fixed designation G 1; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

ϵ^1 NOTE—Editorial corrections were made throughout in January 1999.

1. Scope

1.1 This practice covers suggested procedures for preparing bare, solid metal specimens for tests, for removing corrosion products after the test has been completed, and for evaluating the corrosion damage that has occurred. Emphasis is placed on procedures related to the evaluation of corrosion by mass loss and pitting measurements.

NOTE 1—**Caution:** In many cases the corrosion product on the reactive metals titanium and zirconium is a hard and tightly bonded oxide that defies removal by chemical or ordinary mechanical means. In many such cases, corrosion rates are established by mass gain rather than mass loss.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific precautionary statements, see Note 1 and Note 6.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

A 262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels[2]

D 1193 Specification for Reagent Water[3]

D 1384 Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware[4]

D 2776 Test Methods for Corrosivity of Water in the Absence of Heat Transfer (Electrical Methods)[5]

G 15 Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing[6]

G 16 Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data[6]

G 31 Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals[6]

G 33 Practice for Recording Data from Atmospheric Corrosion Tests of Metallic-Coated Steel Specimens[6]

G 46 Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion[6]

G 50 Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals[6]

G 78 Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron Base and Nickel Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments[6]

3. Terminology

3.1 See Terminology G 15 for terms used in this practice.

4. Significance and Use

4.1 The procedures given are designed to remove corrosion products without significant removal of base metal. This allows an accurate determination of the mass loss of the metal or alloy that occurred during exposure to the corrosive environment.

4.2 These procedures, in some cases, may apply to metal coatings. However, possible effects from the substrate must be considered.

5. Reagents and Materials

5.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society where such specifications are available.[7] Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

5.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water as defined by Type IV of Specification D 1193.

---

[1] This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved March 30, 1990. Published May 1990. Originally published as G 1 – 67. Last previous edition G 1 – 88.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.05.

[5] *Discontinued*—Replaced by Guide G 96. See *1990 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

[6] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

[7] *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

6. Methods for Preparing Specimens for Test

6.1 For laboratory corrosion tests that simulate exposure to service environments, a commercial surface, closely resembling the one that would be used in service, will yield the most meaningful results.

6.2 It is desirable to mark specimens used in corrosion tests with a unique designation during preparation. Several techniques may be used depending on the type of specimen and test.

6.2.1 *Stencil or Stamp*—Most metallic specimens may be marked by stenciling, that is, imprinting the designation code into the metal surface using hardened steel stencil stamps hit with a hammer. The resulting imprint will be visible even after substantial corrosion has occurred. However, this procedure introduces localized strained regions and the possibility of superficial iron contamination in the marked area.

6.2.2 Electric engraving by means of a vibratory marking tool may be used when the extent of corrosion damage is known to be small. However, this approach to marking is much more susceptible to having the marks lost as a result of corrosion damage during testing.

6.2.3 Edge notching is especially applicable when extensive corrosion and accumulation of corrosion products is anticipated. Long term atmospheric tests and sea water immersion tests on steel alloys are examples where this approach is applicable. It is necessary to develop a code system when using edge notches.

6.2.4 Drilled holes may also be used to identify specimens when extensive metal loss, accumulation of corrosion products, or heavy scaling is anticipated. Drilled holes may be simpler and less costly than edge notching. A code system must be developed when using drilled holes. Punched holes should not be used as they introduce residual strain.

6.2.5 When it is undesirable to deform the surface of specimens after preparation procedures, for example, when testing coated surfaces, tags may be used for specimen identification. A metal or plastic wire can be used to attach the tag to the specimen and the specimen identification can be stamped on the tag. It is important to ensure that neither the tag nor the wire will corrode or degrade in the test environment. It is also important to be sure that there are no galvanic interactions between the tag, wire, and specimen.

6.3 For more searching tests of either the metal or the environment, standard surface finishes may be preferred. A suitable procedure might be:

6.3.1 Degrease in an organic solvent or hot alkaline cleaner. (See also Practice G 31.)

NOTE 2—Hot alkalies and chlorinated solvents may attack some metals.

NOTE 3—Ultrasonic cleaning may be beneficial in both pre-test and post-test cleaning procedures.

6.3.2 Pickle in an appropriate solution if oxides or tarnish are present. In some cases the chemical cleaners described in Section 6 will suffice.

NOTE 4—Pickling may cause localized corrosion on some materials.

6.3.3 Abrade with a slurry of an appropriate abrasive or with an abrasive paper (see Practices A 262 and Test Method D 1384). The edges as well as the faces of the specimens should be abraded to remove burrs.

6.3.4 Rinse thoroughly, hot air dry, and store in desiccator.

6.4 When specimen preparation changes the metallurgical condition of the metal, other methods should be chosen or the metallurgical condition must be corrected by subsequent treatment. For example, shearing a specimen to size will cold work and may possibly fracture the edges. Edges should be machined.

6.5 The clean, dry specimens should be measured and weighed. Dimensions determined to the third significant figure and mass determined to the fifth significant figure are suggested. When more significant figures are available on the measuring instruments, they should be recorded.

7. Methods for Cleaning After Testing

7.1 Corrosion product removal procedures can be divided into three general categories: mechanical, chemical, and electrolytic.

7.1.1 An ideal procedure should remove only corrosion products and not result in removal of any base metal. To determine the mass loss of the base metal when removing corrosion products, replicate uncorroded control specimens should be cleaned by the same procedure being used on the test specimen. By weighing the control specimen before and after cleaning, the extent of metal loss resulting from cleaning can be utilized to correct the corrosion mass loss.

NOTE 5—It is desirable to scrape samples of corrosion products before using any chemical techniques to remove them. These scrapings can then be subjected to various forms of analyses, including perhaps X-ray diffraction to determine crystal forms as well as chemical analyses to look for specific corrodants, such as chlorides. All of the chemical techniques that are discussed in Section 7 tend to destroy the corrosion products and thereby lose the information contained in these corrosion products. Care may be required so that uncorroded metal is not removed with the corrosion products.

7.1.2 The procedure given in 7.1.1 may not be reliable when heavily corroded specimens are to be cleaned. The application of replicate cleaning procedures to specimens with corroded surfaces will often, even in the absence of corrosion products, result in continuing mass losses. This is because a corroded surface, particularly of a multiphase alloy, is often more susceptible than a freshly machined or polished surface to corrosion by the cleaning procedure. In such cases, the following method of determining the mass loss due to the cleaning procedure is preferred.

7.1.2.1 The cleaning procedure should be repeated on specimens several times. The mass loss should be determined after each cleaning by weighing the specimen.

7.1.2.2 The mass loss should be graphed as a function of the number of equal cleaning cycles as shown in Fig. 1. Two lines will be obtained: AB and BC. The latter will correspond to corrosion of the metal after removal of corrosion products. The mass loss due to corrosion will correspond approximately to point B.

7.1.2.3 To minimize uncertainty associated with corrosion of the metal by the cleaning method, a method should be chosen to provide the lowest slope (near to horizontal) of line BC.

7.1.3 Repeated treatment may be required for complete

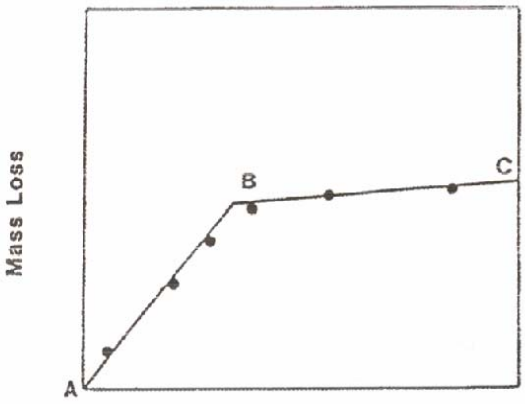


FIG. 1 Mass Loss of Corroded Specimens Resulting from Repetitive Cleaning Cycles

removal of corrosion products. Removal can often be confirmed by examination with a low power microscope (for example, 7× to 30×). This is particularly useful with pitted surfaces when corrosion products may accumulate in pits. This repeated treatment may also be necessary because of the requirements of 7.1.2.1. Following the final treatment, the specimens should be thoroughly rinsed and immediately dried.

7.1.4 All cleaning solutions shall be prepared with water and reagent grade chemicals.

7.2 Chemical procedures involve immersion of the corrosion test specimen in a specific solution that is designed to remove the corrosion products with minimal dissolution of any base metal. Several procedures are listed in Table A1.1. The choice of chemical procedure to be used is partly a matter of trial and error to establish the most effective method for a specific metal and type of corrosion product scale.

NOTE 6—**Caution:** These methods may be hazardous to personnel.

7.2.1 Chemical cleaning is often preceded by light brushing (non metallic bristle) or ultrasonic cleaning of the test specimen to remove loose, bulky corrosion products.

7.2.2 Intermittent removal of specimens from the cleaning solution for light brushing or ultrasonic cleaning can often facilitate the removal of tightly adherent corrosion products.

7.2.3 Chemical cleaning is often followed by light brushing or ultrasonic cleaning in reagent water to remove loose products.

7.3 Electrolytic cleaning can also be utilized for removal of corrosion products. Several useful methods for corrosion test specimens of iron, cast iron, or steel are given in Table A2.1.

7.3.1 Electrolytic cleaning should be preceded by brushing or ultrasonic cleaning of the test specimen to remove loose, bulky corrosion products. Brushing or ultrasonic cleaning should also follow the electrolytic cleaning to remove any loose slime or deposits. This will help to minimize any redeposition of metal from reducible corrosion products that would reduce the apparent mass loss.

7.4 Mechanical procedures can include scraping, scrubbing, brushing, ultrasonic cleaning, mechanical shocking, and impact blasting (for example, grit blasting, water-jet blasting, and so forth). These methods are often utilized to remove heavily encrusted corrosion products. Scrubbing with a nonmetallic bristle brush and a mild abrasive-distilled water slurry can also be used to remove corrosion products.

7.4.1 Vigorous mechanical cleaning may result in the removal of some base metal; therefore, care should be exercised. These should be used only when other methods fail to provide adequate removal of corrosion products. As with other methods, correction for metal loss due to the cleaning method is recommended. The mechanical forces used in cleaning should be held as nearly constant as possible.

8. Assessment of Corrosion Damage

8.1 The initial total surface area of the specimen (making corrections for the areas associated with mounting holes) and the mass lost during the test are determined. The average corrosion rate may then be obtained as follows:

$$\text{Corrosion Rate} = (K \times W)/(A \times T \times D) \quad (1)$$

where:

K = a constant (see 8.1.2),
T = time of exposure in hours,
A = area in cm^2,
W = mass loss in grams, and
D = density in g/cm^3 (see Appendix X1).

8.1.1 Corrosion rates are not necessarily constant with time of exposure. See Practice G 31 for further guidance.

8.1.2 Many different units are used to express corrosion rates. Using the units in 7.1 for T, A, W, and D, the corrosion rate can be calculated in a variety of units with the following appropriate value of K:

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimeters per year (mm/y)	8.76×10^4
micrometers per year (um/y)	8.76×10^7
picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square meter per hour ($g/m^2 \cdot h$)	$1.00 \times 10^4 \times D$
milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D$
micrograms per square meter per second ($\mu g/m^2 \cdot s$)	$2.78 \times 10^6 \times D$

NOTE 7—If desired, these constants may also be used to convert corrosion rates from one set of units to another. To convert a corrosion rate in units X to a rate in units Y, multiply by K_Y/K_X; for example:

$$15 \text{ mpy} = 15 \times (2.78 \times 10^6)/(3.45 \times 10^6) \text{ pm/s} \quad (2)$$

8.2 Corrosion rates calculated from mass losses can be misleading when deterioration is highly localized, as in pitting or crevice corrosion. If corrosion is in the form of pitting, it may be measured with a depth gage or micrometer calipers with pointed anvils (see Guide G 46). Microscopical methods will determine pit depth by focusing from top to bottom of the pit when it is viewed from above (using a calibrated focusing knob) or by examining a section that has been mounted and metallographically polished. The pitting factor is the ratio of the deepest metal penetration to the average metal penetration (as measured by mass loss).

NOTE 8—See Guide G 46 for guidance in evaluating depths of pitting.
NOTE 9—See Guide G 78 for guidance in evaluating crevice corrosion.

8.3 Other methods of assessing corrosion damage are:

8.3.1 *Appearance*—The degradation of appearance by rusting, tarnishing, or oxidation. (See Practice G 33.)

8.3.2 *Mechanical Properties*—An apparent loss in tensile strength will result if the cross-sectional area of the specimen (measured before exposure to the corrosive environment) is reduced by corrosion. (See Practice G 50.) Loss in tensile strength will result if a compositional change, such as dealloying taking place. Loss in tensile strength and elongation will result from localized attack, such as cracking or intergranular corrosion.

8.3.3 *Electrical Properties*—Loss in electrical conductivity can be measured when metal loss results from uniform corrosion. (See Test Methods D 2776.)

8.3.4 *Microscopical Examination*—Dealloying, exfoliation, cracking, or intergranular attack may be detected by metallographic examination of suitably prepared sections.

9. Report

9.1 The report should include the compositions and sizes of specimens, their metallurgical conditions, surface preparations, and cleaning methods as well as measures of corrosion damage, such as corrosion rates (calculated from mass losses), maximum depths of pitting, or losses in mechanical properties.

10. Precision and Bias

10.1 The factors that can produce errors in mass loss measurement include improper balance calibration and standardization. Generally, modern analytical balances can determine mass values to ±0.2 mg with ease and balances are available that can obtain mass values to ±0.02 mg. In general, mass measurements are not the limiting factor. However, inadequate corrosion product removal or overcleaning will affect precision.

10.2 The determination of specimen area is usually the least precise step in corrosion rate determinations. The precision of calipers and other length measuring devices can vary widely. However, it generally is not necessary to achieve better than ±1 % for area measurements for corrosion rate purposes.

10.3 The exposure time can usually be controlled to better than± 1 % in most laboratory procedures. However, in field exposures, corrosive conditions can vary significantly and the estimation of how long corrosive conditions existed can present significant opportunities for error. Furthermore, corrosion processes are not necessarily linear with time, so that rate values may not be predictive of the future deterioration, but only are indications of the past exposure.

10.4 Regression analysis on results, as are shown in Fig. 1, can be used to obtain specific information on precision. See Guide G 16 for more information on statistical analysis.

10.5 Bias can result from inadequate corrosion product removal or metal removal caused by overcleaning. The use of repetitive cleaning steps, as shown in Fig. 1, can minimize both of these errors.

10.5.1 Corrosion penetration estimations based on mass loss can seriously underestimate the corrosion penetration caused by localized processes, such as pitting, cracking, crevice corrosion, and so forth.

11. Keywords

11.1 cleaning; corrosion product removal; evaluation; mass loss; metals; preparation; specimens

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. CHEMICAL CLEANING PROCEDURES

TABLE A1.1 CHEMICAL CLEANING PROCEDURES FOR REMOVAL OF CORROSION PRODUCTS

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.1.1	Aluminum and Aluminum Alloys	50 mL phosphoric acid (H_3PO_4, sp gr 1.69) 20 g chromium trioxide (CrO_3) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 min	90°C to Boiling	If corrosion product films remain, rinse, then follow with nitric acid procedure (C.1.2).
C.1.2		Nitric acid (HNO_3, sp gr 1.42)	1 to 5 min	20 to 25°C	Remove extraneous deposits and bulky corrosion products to avoid reactions that may result in excessive removal of base metal.
C.2.1	Copper and Copper Alloys	500 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Deaeration of solution with purified nitrogen will minimize base metal removal.
C.2.2		4.9 g sodium cyanide (NaCN) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Removes copper sulfide corrosion products that may not be removed by hydrochloric acid treatment (C.2.1).
C.2.3		100 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	Remove bulky corrosion products before treatment to minimize copper redeposition on specimen surface.
C.2.4		120 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 30 g sodium dichromate ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 s	20 to 25°C	Removes redeposited copper resulting from sulfuric acid treatment.

TABLE A1.1 *Continued*

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.2.5		54 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	30 to 60 min	40 to 50°C	Deaerate solution with nitrogen. Brushing of test specimens to remove corrosion products followed by re-immersion for 3 to 4 s is recommended.
C.3.1	Iron and Steel	1000 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 20 g antimony trioxide (Sb_2O_3) 50 g stannous chloride ($SnCl_2$)	1 to 25 min	20 to 25°C	Solution should be vigorously stirred or specimen should be brushed. Longer times may be required in certain instances.
C.3.2		50 g sodium hydroxide (NaOH) 200 g granulated zinc or zinc chips Reagent water to make 1000 mL	30 to 40 min	80 to 90°C	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.3.3		200 g sodium hydroxide (NaOH) 20 g granulated zinc or zinc chips Reagent water to make 1000 mL	30 to 40 min	80 to 90°C	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.3.4		200 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	20 min	75 to 90°C	Depending upon the composition of the corrosion product, attack of base metal may occur.
C.3.5		500 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 3.5 g hexamethylene tetramine Reagent water to make 1000 mL	10 min	20 to 25°C	Longer times may be required in certain instances.
C.3.6		Molten caustic soda (NaOH) with 1.5–2.0 % sodium hydride (NaH)	1 to 20 min	370°C	For details refer to Technical Information Bulletin SP29-370, "DuPont Sodium Hydride Descaling Process Operating Instructions."
C.4.1	Lead and Lead Alloys	10 mL acetic acid (CH_3COOH) Reagent water to make 1000 mL	5 min	Boiling	...
C.4.2		50 g ammonium acetate (CH_3COONH_4) Reagent water to make 1000 mL	10 min	60 to 70°C	...
C.4.3		250 g ammonium acetate (CH_3COONH_4) Reagent water to make 1000 mL	5 min	60 to 70°C	...
C.5.1	Magnesium and Magnesium Alloys	150 g chromium trioxide (CrO_3) 10 g silver chromate (Ag_2CrO_4) Reagent water to make 1000 mL	1 min	Boiling	The silver salt is present to precipitate chloride.
C.5.2		200 g chromium trioxide (CrO_3) 10 g silver nitrate ($AgNO_3$) 20 g barium nitrate ($Ba(NO_3)_2$) Reagent water to make 1000 mL	1 min	20 to 25°C	The barium salt is present to precipitate sulfate.
C.6.1	Nickel and Nickel Alloys	150 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	...
C.6.2		100 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3 min	20 to 25°C	...
C.7.1	Stainless Steels	100 mL nitric acid (HNO_3, sp gr 1.42) Reagent water to make 1000 mL	20 min	60°C	...
C.7.2		150 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	10 to 60 min	70°C	...
C.7.3		100 g citric acid ($C_6H_8O_7$) 50 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 2 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethyliodide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	5 min	60°C	...
C.7.4		200 g sodium hydroxide (NaOH) 30 g potassium permanganate ($KMnO_4$) Reagent water to make 1000 mL *followed by* 100 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	5 min	Boiling	...
C.7.5		100 mL nitric acid (HNO_3, sp gr 1.42) 20 mL hydrofluoric acid (HF, sp gr 1.198–48 %) Reagent water to make 1000 mL	5 to 20 min	20 to 25°C	...
C.7.6		200 g sodium hydroxide (NaOH) 50 g zinc powder Reagent water to make 1000 mL	20 min	Boiling	Caution should be exercised in the use of any zinc dust since spontaneous ignition upon exposure to air can occur.
C.8.1	Tin and Tin Alloys	150 g trisodium phosphate ($Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$) Reagent water to make 1000 mL	10 min	Boiling	...
C.8.2		50 mL hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) Reagent water to make 1000 mL	10 min	20°C	...

TABLE A1.1 *Continued*

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
C.9.1	Zinc and Zinc Alloys	150 mL ammonium hydroxide (NH_4OH, sp gr 0.90) Reagent water to make 1000 mL *followed by* 50 g chromium trioxide (CrO_3) 10 g silver nitrate ($AgNO_3$) Reagent water to make 1000 mL	5 min 15 to 20 s	20 to 25°C Boiling	... The silver nitrate should be dissolved in water and added to the boiling chromic acid to prevent excessive crystallization of silver chromate. The chromic acid must be sulfate free to avoid attack of the zinc base metal.
C.9.2		100 g ammonium chloride (NH_4Cl) Reagent water to make 1000 mL	2 to 5 min	70°C	...
C.9.3		200 g chromium trioxide (CrO_3) Reagent water to make 1000 mL	1 min	80°C	Chloride contamination of the chromic acid from corrosion products formed in salt environments should be avoided to prevent attack of the zinc base metal.
C.9.4		85 mL hydriodic acid (HI, sp gr 1.5) Reagent water to make 1000 mL	15 s	20 to 25°C	Some zinc base metal may be removed. A control specimen (3.1.1) should be employed.
C.9.5		100 g ammonium persulfate ($(NH_4)_2S_2O_8$) Reagent water to make 1000 mL	5 min	20 to 25°C	Particularly recommended for galvanized steel.
C.9.6		100 g ammonium acetate (CH_3COONH_4) Reagent water to make 1000 mL	2 to 5 min	70°C	...

A2. ELECTROLYTIC CLEANING PROCEDURES

TABLE A2.1 ELECTROLYTIC CLEANING PROCEDURES FOR REMOVAL OF CORROSION PRODUCTS

Designation	Material	Solution	Time	Temperature	Remarks
E.1.1	Iron, Cast Iron, Steel	75 g sodium hydroxide (NaOH) 25 g sodium sulfate (Na_2SO_4) 75 g sodium carbonate (Na_2CO_3) Reagent water to make 1000 mL	20 to 40 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 to 200 A/m^2 current density. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.1.2		28 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 0.5 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethyliodide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	3 min	75°C	Cathodic treatment with 2000 A/m^2 current density. Use carbon, platinum or lead anode.
E.1.3		100 g diammonium citrate ($(NH_4)_2HC_6H_5O_7$) Reagent water to make 1000 mL	5 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m^2 current density. Use carbon or platinum anode.
E.2.1	Lead and Lead Alloys	28 mL sulfuric acid (H_2SO_4, sp gr 1.84) 0.5 g inhibitor (diorthotolyl thiourea or quinoline ethyliodide or betanaphthol quinoline) Reagent water to make 1000 mL	3 min	75°C	Cathodic treatment with 2000 A/m^2 current density. Use carbon, platinum or lead anode.
E.3.1	Copper and Copper Alloys	7.5 g potassium chloride (KCl) Reagent water to make 1000 mL	1 to 3	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m^2 current density. Use carbon or platinum anode.
E.4.1	Zinc and Cadmium	50 g dibasic sodium phosphate (Na_2HPO_4) Reagent water to make 1000 mL	5 min	70°C	Cathodic treatment with 110 A/m^2 current density. Specimen must be energized prior to immersion. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.4.2		100 g sodium hydroxide (NaOH) Reagent water to make 1000 mL	1 to 2 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 100 A/m^2 current density. Specimen must be energized prior to immersion. Use carbon, platinum or stainless steel anode.
E.5.1	General (excluding Aluminum, Magnesium and Tin Alloys)	20 g sodium hydroxide (NaOH) Reagent water to make 1000 mL	5 to 10 min	20 to 25°C	Cathodic treatment with 300 A/m^2 current density. A S31600 stainless steel anode may be used.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. DENSITIES FOR A VARIETY OF METALS AND ALLOYS

TABLE X1.1 DENSITIES FOR A VARIETY OF METALS AND ALLOYS

NOTE 1—All UNS numbers that include the letter X indicate a series of numbers under one category.

NOTE 2—An asterisk indicates that a UNS number not available.

UNS Number	Alloy	Density g/cm³
	Aluminum Alloys	
A91100	1100	2.71
A91199	1199	2.70
A92024	2024	2.78
A92219	2219	2.84
A93003	3003	2.73
A93004	3004	2.72
A95005	5005	2.70
A95050	5050	2.69
A95052	5052	2.68
A95083	5083	2.66
A95086	5086	2.66
A95154	5154	2.66
A95357	5357	2.69
A95454	5454	2.69
A95456	5456	2.66
A96061	6061	2.70
*	6062	2.70
A96070	6070	2.71
A96101	6101	2.70
A97075	7075	2.81
A97079	7079	2.75
A97178	7178	2.83
	Stainless Steels	
S20100	Type 201	7.94
S20200	Type 202	7.94
S30200	Type 302	7.94
S30400	Type 304	7.94
S30403	Type 304L	7.94
S30900	Type 309	7.98
S31000	Type 310	7.98
S31100	Type 311	7.98
S31600	Type 316	7.98
S31603	Type 316L	7.98
S31700	Type 317	7.98
S32100	Type 321	7.94
S32900	Type 329	7.98
N08330	Type 330	7.98
S34700	Type 347	8.03
S41000	Type 410	7.70
S43000	Type 430	7.72
S44600	Type 446	7.65
S50200	Type 502	7.82
	Other Ferrous Metals	
F1XXXX	Gray cast iron	7.20
CXXXXX–KXXXXX	Carbon steel	7.86
*	Silicon iron	7.00
KXXXXX	Low alloy steels	7.85
	Copper Alloys	
C38600	Copper	8.94
C23000	Red brass 230	8.75
C26000	Cartridge brass 260	8.52
C28000	Muntz metal 280	8.39
*	Admiralty 442	8.52
C44300	Admiralty 443	8.52
C44400	Admiralty 444	8.52
C44500	Admiralty 445	8.52
C68700	Aluminum brass 687	8.33
C22000	Commercial bronze 220	8.80
C60800	Aluminum bronze, 5 % 608	8.16
*	Aluminum bronze, 8 % 612	7.78
*	Composition M	8.45
*	Composition G	8.77
C51000	Phosphor bronze, 5 % 510	8.86
C52400	Phosphor bronze, 10 % 524	8.77
*	85-5-5-5	8.80
C65500	Silicon bronze 655	8.52
C70600	Copper nickel 706	8.94
C71000	Copper nickel 710	8.94
C71500	Copper nickel 715	8.94
C75200	Nickel silver 752	8.75
	Lead	
L53305–53405	Antimonial	10.80
L5XXXX	Chemical	11.33
	Nickel Alloys	
N02200	Nickel 200	8.89
N04400	Nickel copper 400	8.84
N06600	Nickel chromium iron alloy 600	8.51
N06625	Nickel chromium molybdenum alloy 625	8.14
N08825	Iron nickel chromium alloy 825	8.14
N08020	Iron nickel chromium alloy 20 Cb-3	8.08
*	Iron nickel chromium cast alloy 20	8.02
N10665	Nickel molybdenum alloy B2	9.2
N10276	Nickel chromium molybdenum alloy C-276	8.8
N06985	Nickel chromium molybdenum alloy G-3	8.3
	Other Metals	
M1XXXX	Magnesium	1.74
R03600	Molybdenum	10.22
P04980	Platinum	21.45
P07016	Silver	10.49
R05200	Tantalum	16.60
L13002	Tin	7.30
R50250	Titanium	4.54
Z13001	Zinc	7.13
R60001	Zirconium	6.53

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

ANEXO B. NORMA ASTM G59

Designation: G 59 – 97

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements[1]

This standard is issued under the fixed designation G 59; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes an experimental procedure for polarization resistance measurements which can be used for the calibration of equipment and verification of experimental technique. The test method can provide reproducible corrosion potentials and potentiodynamic polarization resistance measurements.

1.2 *This test method does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

G 3 Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing[2]

G 5 Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements[2]

G 102 Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements[2]

2.2 *Adjunct:*

Samples of the Standard AISI Type 430 Stainless Steel (UNS S43000)[3]

3. Significance and Use

3.1 This test method can be utilized to verify the performance of polarization resistance measurement equipment including reference electrodes, electrochemical cells, potentiostats, scan generators, measuring and recording devices. The test method is also useful for training operators in sample preparation and experimental techniques for polarization resistance measurements.

3.2 Polarization resistance can be related to the rate of general corrosion for metals at or near their corrosion potential, E_{corr}. Polarization resistance measurements are an accurate and rapid way to measure the general corrosion rate. Real time corrosion monitoring is a common application. The technique can also be used as a way to rank alloys, inhibitors, and so forth in order of resistance to general corrosion.

3.3 In this test method, a small potential scan, $\Delta E(t)$, defined with respect to the corrosion potential ($\Delta E = E - E_{corr}$), is applied to a metal sample. The resultant currents are recorded. The polarization resistance, R_P, of a corroding electrode is defined from Eq 1 as the slope of a potential versus current density plot at $i = 0$ **(1-4)**:[4]

$$R_P = \left(\frac{\partial \Delta E}{\partial i}\right)_{i=0,\, dE/dt \to 0} \tag{1}$$

The current density is given by i. The corrosion current density, i_{corr}, is related to the polarization resistance by the Stern-Geary coefficient, B. **(3)**,

$$i_{corr} = 10^6 \frac{B}{R_p} \tag{2}$$

The dimension of R_p is ohm-cm^2, i_{corr} is muA/cm^2, and B is in V. The Stern-Geary coefficient is related to the anodic, b_a, and cathodic, b_c, Tafel slopes as per Eq 3.

$$B = \frac{b_a b_c}{2.303(b_a + b_c)} \tag{3}$$

The units of the Tafel slopes are V. The corrosion rate, CR, in mm per year can be determined from Eq 4 in which EW is the equivalent weight of the corroding species in grams and ρ is the density of the corroding material in g/cm^3.

$$CR = 3.27 \times 10^{-3} \frac{i_{corr} EW}{\rho} \tag{4}$$

Refer to Practice G 102 for derivations of the above equations and methods for estimating Tafel slopes.

3.4 The test method may not be appropriate to measure polarization resistance on all materials or in all environments. See 8.2 for a discussion of method biases arising from solution resistance and electrode capacitance.

4. Apparatus

4.1 The apparatus is described in Test Method G 5. It includes a 1 L round bottom flask modified to permit the addition of inert gas, thermometer, and electrodes. This standard cell or an equivalent cell can be used. An equivalent

[1] This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals, and is the direct responsibility of Subcommittee G 01.11 on Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.

Current edition approved Dec. 10, 1997. Published February 1998. Originally published as G 59 – 78. Last previous edition G 59 – 91.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

[3] Available from ASTM Headquarters. Order PCN 12-700050-00.

[4] The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

TABLE 1 Interlaboratory Test Program Polarization Data for Stainless Steel Type 430 in 1.0 N H_2SO_4 at 30°C

Laboratory	E_{corr}–5min	E_{corr}–55min	R_p
	(mV)	(mV)	(ohm-cm²)
1	–0.519	–0.506	6.47
	–0.519	–0.505	5.88
2	–0.542	–0.521	5.95
	–0.540	–0.519	5.04
3	–0.524	–0.513	6.93
	–0.520	–0.508	6.40
4	–0.555	–0.545	7.70
	–0.565	–0.545	7.70
5	–0.539	–0.524	7.58
	–0.530	–0.510	6.18
6	–0.519	–0.510	7.60
	–0.522	–0.512	7.16
	–0.521	–0.509	6.65
7	–0.522	–0.510	9.06
	–0.520	–0.511	7.07
	–0.523	–0.510	5.85
8	–0.520	–0.508	7.11
	–0.520	–0.508	7.52
	–0.521	–0.510	6.94
9	–0.529	–0.513	7.11
	–0.530	–0.513	7.22
	–0.529	–0.514	7.19
	–0.529	–0.515	7.19
10	–0.514	–0.505	5.17
	–0.516	–0.506	6.90
11	–0.543	–0.529	5.07
	–0.538	–0.524	4.64
12	–0.520	–0.505	5.63
	–0.519	–0.507	6.16
13	–0.531	–0.519	5.08
	–0.529	–0.517	5.38
	–0.529	–0.517	5.90

polarization resistance. A research report has been filed with the results of this program.

8.1.1 *Repeatability*— The lack of repeatability is measured by the repeatability standard deviation s_r. The 95 % confidence interval was calculated as ± 2.8 s_r. The values obtained are shown in Table 2.The 95 % confidence interval refers to the interval around the average that 95 % of the values should be found.

TABLE 2 Repeatability Statistics

	Average	S_r	95 % Confidence Interval
E_{corr} 5 min, mV versus SCE	–0.5287	0.00260	± 0.0073 V
E_{corr} 55 min, mV versus SCE	–0.5151	0.00273	± 0.0076 V
R_p, ohm-cm²	6.46	0.713	±2.00 ohm-cm²

8.1.2 *Reproducibility*— The lack of reproducibility is measured by the reproducibility standard deviation, s_R. The 95 % confidence interval was calculated as ± 2.8 s_R. The values obtained are shown in Table 3.

8.2 *Bias*—The polarization resistance as measured by the Test Method G 59 has two sources of bias. The potentiodynamic method includes a double layer capacitance charging effect that may cause the polarization resistance to be underestimated. There is also a solution resistance effect that may cause the polarization resistance to be overestimated. This bias will depend on the placement of the reference electrode and electrolyte conductivity. Refer to Practice G 102 for further discussion on the effects of double layer capacitance and solution resistance on polarization resistance measurements.

9. Keywords

9.1 anodic polarization; auxiliary electrode; cathodic polarization; corrosion; corrosion potential; corrosion rate; current density; electrochemical cell; electrochemical potential; Luggin probe; mixed potential; open-circuit potential; overvoltage; polarization resistance; potentiodynamic; reference electrode; solution resistance; Stern-Geary coefficient; Tafel slope; working electrode

TABLE 3 Reproducibility Statistics

	Average	S_R	95 % Confidence Interval
E_{corr} 5 min, mV versus SCE	–0.5287	0.0127	± 0.0356 mV
E_{corr} 55 min, mV versus SCE	–0.5151	0.0111	± 0.0311 mV
R_p ohm-cm²	6.46	1.01	±2.83 ohm-cm²

REFERENCES

(1) Stern, M., and Roth, R. M., *Journal of the Electrochemical Society*, Vol 104, 1957, p. 390.

(2) Stern, M., Corrosion, Vol 14, 1958, p. 440 t.

(3) Mansfeld, F., "The Polarization Resistance Technique for Measuring Corrosion Currents", *Corrosion Science and Technology*, Plenum Press, New York, NY, Vol VI, 1976, p.163.

(4) Mansfeld, F., "Evaluation of Polarization Resistance Round Robin Testing Conducted by ASTM G01.11", Paper No. 106, CORROSION/76, NACE, Houston, TX, March 22-26, 1976.

(5) Gileadi, E., Kirowa-Eisner, E., and Penciner, J. *Interfacial Electrochemistry, an Experimental Approach*, Chapter III.1, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA 1975.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

ANEXO C. SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES.

El término soldabilidad envuelve todos los aspectos necesarios que debe reunir un metal al ser soldado para que sea digno de confianza. La “American Welding Saociety” ha definido la soldabilidad como la capacidad de un metal para ser soldado bajo condiciones de fabricación dentro de una estructura especifica, convenientemente diseñada y para desempeñarse satisfactoriamente después de ello en servicio.

La soldabilidad está determinada por las propiedades metalúrgicas del metal de base y del metal de aporte, lo mismo que por la sensibilidad del metal de la soldadura a la dilución de metales de base heterogéneas. Los factores que afectan la soldabilidad son: el proceso de soldadura, las propiedades del metal base, el metal de relleno y las condiciones de la superficie.

La dilución ocurre cuando el metal de aporte se mezcla con el metal de base. Si el metal de soldadura no puede tolerar la mezcla del metal de base, hay poca soldabilidad. El grado de dilución que experimenta el metal de soldadura depende de la entrada de calor, proceso de soldadura y configuración de la junta que se va a soldar.

El material de aporte para la unión de piezas de acero inoxidable (clasificación austenitico) que conforman el prototipo, fue el AWS E308L-16 (recubrimiento de bajo hidrógeno o de tipo básico), algunas características de este material son:

Composición química (0.04% máx de Carbono, 0.90% máx de Silicio, 9.0-11.0% de Níquel, 0.5-2.5% de Manganeso y 18-20% de Cromo).

Produce un arco suave con pérdidas por salpicaduras muy bajas.
Puede ser utilizado para corriente directa electrodo positivo o en corriente alterna.
Su escoria es de fácil remoción.

La apariencia del depósito es muy buena, ya que los cordones de soldadura presentan un contorno suave y relativamente plano.
Su revestimiento de tipo rutílico le permite al electrodo soldar fácilmente en todas las posiciones.

Las propiedades del material se observan en la *Cuadro 1.*

Cuadro 2. Propiedades mecánicas del material depositado AWS E308L-16

Resistencia a la tracción	52-63 kg/mm^2	(75-90 ksi)
Elongación	40-60%	
Reducción de área	30-60%	

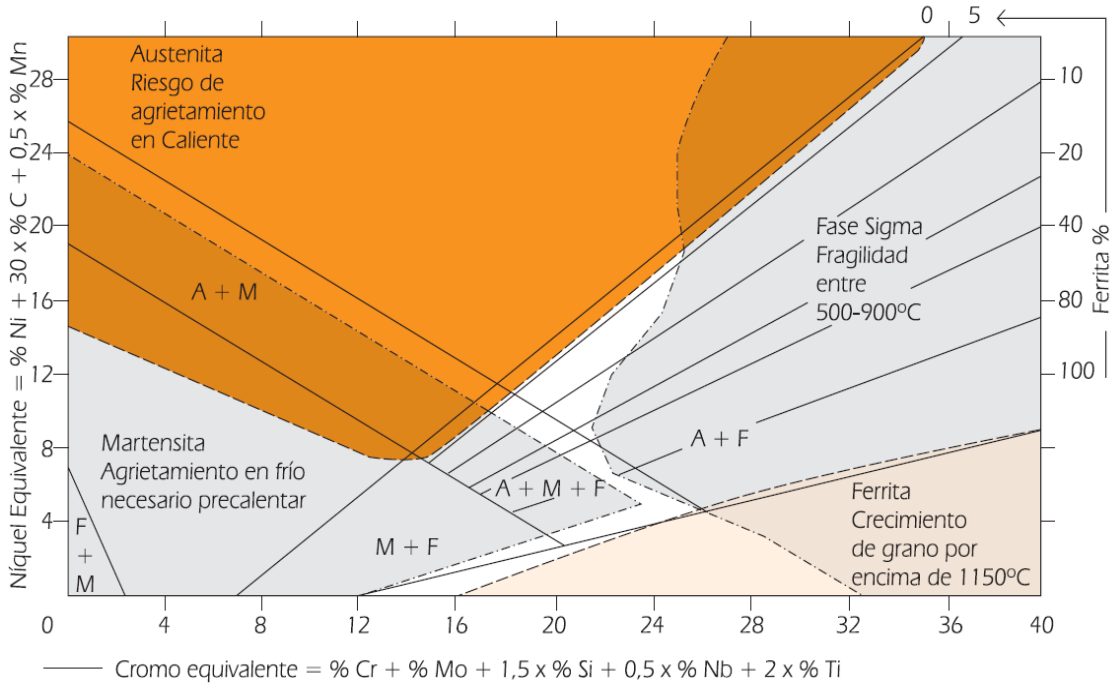
Fuente: www.westarco.com

Una herramienta utilizada para predecir, aproximadamente, el tipo de estructura a encontrar en la soldadura cuando la composición del electrodo ha sido diluida por el metal de base, es el diagrama de Shaeffler. A continuación presentamos el ejemplo de la soldadura entre el acero inoxidable 304 y el tipo de soldadura AWSE308L-16, utilizando el diagrama de Shaeffler (ver figura 13).

Para el acero 304 tenemos:
- Cromo equivalente: 21.5%
- Níquel equivalente: 15.4%

Para el material de aporte AWSE308L-16 tenemos:
- Cromo equivalente: 21%
- Carbono equivalente:0.04%
- Níquel equivalente: 11%
- Manganeso equivalente: 2.5%
-

Figura 25. Diagrama de Shaeffler. Constitución del metal de soldadura de los aceros inoxidables.



Fuente: GÓMEZ MORENO, Orlando Jose. Soldadura de Metales. Facultad de Ciencias Físico Químicas. Departamento de Ingeniería Metalurgia y Ciencia de Materiales. 1989.

ANEXO D. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN MEDIANTE ENSAYOS ELECTROQUÍMICOS.

Las bases teóricas para los ensayos electroquímicos de corrosión se derivan de la teoría del potencial mixto, cuya más moderna concepción es atribuida a WAGNER y TRAUD. En esencia esta teoría separa las reacciones de oxidación y de reducción y postula que la velocidad total de todas las reacciones de oxidación es igual al total de las velocidades de todas las reacciones de reducción en la superficie metálica.

Las reacciones de oxidación o reacciones anódicas, ocurren en los "sitios" anódicos del metal cuando se corroe, o en el ánodo en una celda electroquímica, y pueden ser representadas por la reacción general:

$M \longrightarrow M^{n+} + ne$

Esta es la reacción de corrosión generalizada que disuelve los átomos del metal por oxidación de iones. En esta reacción, el número de electrones producido es igual a la falencia del metal del ion producido.

La densidad de corriente de corrosión no puede ser medida directamente, ya que la corriente relacionada con este proceso es la que fluye entre numerosos sitios anódicos y catódicos en la superficie del metal (micropilas). No obstante, esta corriente puede ser medida indirectamente con ayuda de una celda electroquímica y un equipo electrónico. Un potenciostato en conjunción con un electrodo de referencia (normalmente el electrodo de calomelanos saturado) es un instrumento que aplica un potencial a la probeta (electrodo de trabajo), que puede ser controlado en el sentido deseado, imponiéndole la densidad de corriente para mantener el potencial.

Efectuando un barrido de potencial a una velocidad de barrido baja y controlada desde un potencial catódico hasta un potencial anódico, se obtiene una curva de polarización que representa los puntos de pseudoequilibrio (i,E) en e~ intervalo de potenciales estudiado. Esta curva consta de una rama catódica y una rama anódica que, teóricamente, deberían ser lineales (denominadas curvas de Tafel), y mediante extrapolación, permitiría conocer la densidad de corriente de corrosión

Por otra parte, efectuando un barrido lineal de potencial en las proximidades del potencial en equilibrio (± 30 mV), la curva potencial (E) vs., densidad de corriente (i), es aproximadamente lineal y la pendiente *E/i* tiene unidades de resistencia.

Aceptando esta linealidad, la expresión que relaciona la resistencia a la polarización y la intensidad de corrosión (i_{cot}) viene dada por la expresión:

$$i_{cot} = B/Rp$$

donde Rp es la resistencia a la polarización

$$Rp = D\ E/D\ i$$

Y B es una constante que relaciona las pendientes de las curvas anódicas y catódicas de:

$$B = ba\ bc/2.3(ba+bc)$$

la curva de polarización (constantes de Tafel). Esta constante B es función del material, del estado superficial y del medio de ensayo, oscilando según datos extraídos de Bibliografía, entre un valor de 20 y 40 mV.

La densidad de corriente obtenida puede ser convertida en velocidad de corrosión (R_{mpy}) mediante la expresión

$$R_{mpy} = 0{,}13 i_{cot}\ e/d$$

Donde R_{mpy} es la velocidad de corrosión en milésimas de pulgada año: "e" es el equivalente químico y "d" la densidad.

El método de evaluación de la resistencia a la polarización lineal viene contemplado por la norma ASTM G-59.

ANEXO E. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN DE LATÓN AL ALUMINIO EN AGUA POTABLE.

CONGRESO CONAMET/SAM 2004

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LATÓN AL ALUMINIO EN AGUA POTABLE.

M.B. Valcarce, M.Vázquez y S.R. de Sánchez

División Corrosión, INTEMA, Facultad de Ingeniería, UNMdP

Juan B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata – Argentina

e-mail: mvalca@fi.mdp.edu.ar.

RESUMEN

Las aleaciones de cobre son materiales ampliamente utilizados para la conducción de aguas. En este trabajo, se ha determinado la velocidad de corrosión del latón al aluminio (Cu76Zn22Al2) en agua potable comparando resultados de ensayos electroquímicos y de ensayos de pérdida de peso. El medio elegido es agua potable sintética (pH 7.6), cuya composición refleja un promedio del agua potable de la ciudad de Mar del Plata.

Para realizar el ensayo de pérdida de peso se prepararon cupones que se mantuvieron inmersos en agua potable artificial durante 90 días. A partir de la pérdida de peso resultante se determinó la corriente de corrosión. Cabe notar que al finalizar el período de inmersión, los cupones extraídos presentaron picado.

Paralelamente se determinó la resistencia a la polarización (R_p) a diferentes tiempos de inmersión mediante saltos de potencial, barridos potenciodinámicos y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). Los valores de Rp obtenidos por los diferentes métodos electroquímicos muestran buena concordancia, y aumentan en el tiempo. Este incremento puede atribuirse al crecimiento de una capa de óxido sobre la superficie metálica. A partir del registro de curvas de polarización se obtuvieron las pendientes de Tafel y se estimó la corriente de corrosión luego de 2 y 192 hs de inmersión. Los valores de corriente de corrosión obtenidos por los diferentes métodos electroquímicos se condicen con los resultados obtenidos mediante el ensayo de pérdida de peso.

Palabras Claves: latón al aluminio, agua potable, velocidad de corrosión.

1. INTRODUCCIÓN

El empleo de cobre y sus aleaciones en la construcción de sistemas de conducción de agua potable está muy extendido. Sus principales propiedades son su gran durabilidad y su buena resistencia a la corrosión. Sin embargo, no es infrecuente que se presenten fallas [1,2,3].

El cobre es susceptible a sufrir picado y corrosión generalizada. El tipo de ataque depende de la composición de la película superficial, la que a su vez está condicionada por la composición del medio [1].

Cuando las aleaciones de cobre contienen cinc como principal elemento de aleación, puede ocurrir que además de picado aparezca la disolución selectiva de cinc que deja una capa porosa rica en cobre. Este proceso se conoce como dealeado o descinficación [4].

La velocidad de corrosión de un metal en un medio corrosivo se evalúa habitualmente realizando ensayos de pérdida de peso [5]. Esta técnica demanda mucho tiempo y no permite la obtención de una velocidad de corrosión instantánea.

En este trabajo, se determina la velocidad de corrosión del latón al aluminio (Cu76Zn22Al2) en agua potable.

Se han utilizado técnicas electroquímicas de barrido, de salto y espectroscópicas, que permiten la determinación de velocidades instantáneas de corrosión. Estos resultados se contrastan contra las corrientes de corrosión calculadas a partir de ensayos de pérdida de peso. El medio electrolítico elegido es agua potable sintética (pH 7.6), cuya composición refleja un promedio del agua potable de la ciudad de Mar del Plata, Argentina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En todas las experiencias realizadas se empleó agua potable sintética, cuya composición fue $MgSO_4$ (40 mg l^{-1}), $MgCl_2$ (60 mg l^{-1}), KNO_3 (25 mg l^{-1}), $CaCl_2$ (110 mg l^{-1}), Na_2CO_3 (560 mg l^{-1}) y $NaNO_3$ (20 mg l^{-1}) en agua destilada; el pH fue ajustado a 7.6 con HCl 1 mol l^{-1}.

Para los ensayos electroquímicos se usaron discos de latón al aluminio (Cu 76%, Zn 22.18%, Al 1,8% y otros 0.02%) incluidos con resina en caños de PVC con un contacto eléctrico. Las muestras fueron pulidas a espejo hasta alúmina 0.3 mm.

Para el ensayo de pérdida de peso se prepararon 6 cupones de 3 x 2 cm (área expuesta 12 cm^2) pulidos con lija de grano 600.

Los ensayos electroquímicos se realizaron en una celda de tres electrodos con Pt como contraelectrodo y un electrodo de calomel saturado (ECS) como referencia. Los electrodos se mantuvieron al potencial de corrosión, con el pre-tratamiento a -1.1 V por 15 minutos, antes de iniciar los ensayos electroquímicos.

Para obtener las curvas de polarización se realizó un barrido potenciodinámico en sentido positivo o negativo a una velocidad de barrido de 0.1 mV s^{-1}.

La resistencia a la polarización se determinó mediante barridos potenciodiámicos y saltos de potencial. En el primer caso se aplicó un barrido de potencial a 0.1 mVs^{-1}desde -20 mV a +20 mV respecto al potencial de corrosión. El valor de Rp (Ω) fue obtenido de la pendiente de la curva potencial - corriente. El valor obtenido fue multiplicado por el área del electrodo, quedando Rp expresada en unidades de Ω cm^2. Los valores de Rp son inversamente proporcionales a la corriente de corrosión (icorr), según expresa la ecuación (1) [6]:

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \ \beta_c}{2.303 \ (\beta_a + \beta_c)} \ \frac{1}{Rp} = \frac{B}{Rp} \quad (1)$$

donde βa y βc son, respectivamente las pendientes de Tafel anódica y catódica. Según lo establece la ley de Faraday, la corriente de corrosión (icorr) es directamente proporcional a la velocidad de corrosión del metal (VC) , lo cual implica que la velocidad de corrosión del metal es inversamente proporcional a la resistencia a la polarización .

En el segundo método se aplicó un escalón de 15 mV y se midió la corriente aplicando en forma directa la ley de Ohm.

Para los espectros de impedancia electroquímica se barrió la frecuencia desde 20 kHz a 1 mHz, con una amplitud de 10 mV.

En los ensayos de pérdida de peso los cupones previamente pesados, fueron suspendidos en agua potable sintética. Luego se los mantuvo durante 90 días a 32°C con agitación suave. Los cupones fueron extraídos y sometidos a limpieza química, para luego ser pesados y examinados con un microscopio metalográfico.

3.RESULTADOS

Para evaluar la velocidad de corrosión del latón en agua potable sintética, se midió la resistencia a la polarización (Rp) mediante escalones de potencial, barridos potenciodinámicos y espectroscopía de impedancia electroquímica.

Los valores de Rp se midieron luego de mantener al latón un cierto tiempo al potencial de corrosión. Los resultados obtenidos por los diferentes métodos presentaron concordancia. A tiempos cortos (2 hs), los valores de Rp para latón son de 34 ± 9.8 kΩ cm^2, mientras que a tiempos largos (192 hs) el Rp se incrementa alcanzando valores de 243,6 ± 41.5 kΩ cm^2 (figura 1).

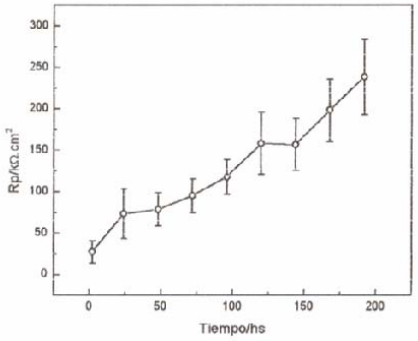


Figura 1. Variación del Rp medido en función del tiempo de exposición para latón en agua potable al potencial de corrosión. Los valores de Rp presentados en este gráfico son un promedio de los medidos por las diferentes técnicas electroquímicas empleadas.

En la figura 2 se presentan los espectros de impedancia electroquímica obtenidos para latón luego de 2, 24 y 192 hs de inmersión al potencial de corrosión.

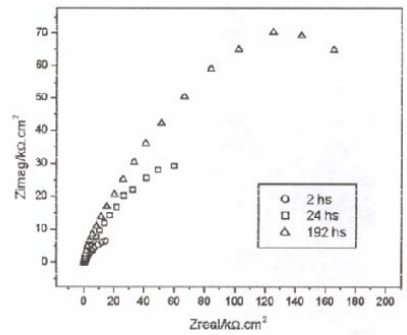


Figura 2. Diagrama de Nyquist para latón en agua potable luego de 2, 24 y 192 hs al potencial de corrosión.

Se observa un incremento de la impedancia con el tiempo.

En las figuras 3 y 4 se presentan los diagramas de impedancia correspondientes a la figura 2 pero en el formato gráfico de Bode ($\log f$ vs. θ y $\log f$ vs. $\log |Z|$ respectivamente). En ambos diagramas del tipo Bode se distinguen dos constantes de tiempo en todas las condiciones estudiadas. La constante de tiempo en la zona de frecuencias altas puede relacionarse con la formación de una película superficial con características protectoras [7].

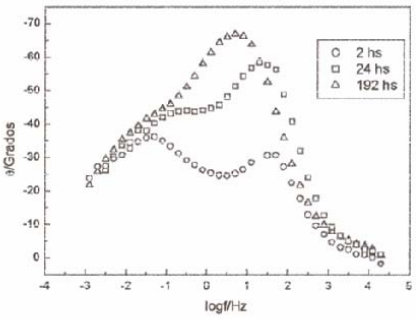


Figura 3. Diagrama de Bode ($\log f$ vs. θ) para latón en agua potable luego de 2, 24 y 192 hs al potencial de corrosión

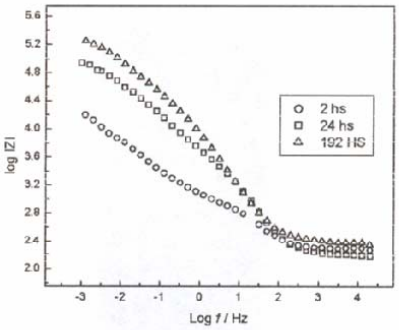


Figura 4. Diagrama de Bode ($\log f$ vs. $\log |Z|$) para latón en agua potable luego de 2, 24 y 192 hs al potencial de corrosión.

Para el modelado de los datos experimentales se utilizó un tipo de circuito eléctrico habitualmente empleado para el estudio de superficies con películas protectoras porosas (figura 5) [7]. En este circuito Rs representa la resistencia de la solución, Ra representa la resistencia de la película superficial, Rb representa la resistencia a la transferencia de carga y Z_{CPE} representa un elemento de fase constante. Un elemento de fase constante es el equivalente a un capacitor ideal cuando N es igual a 1 [8]. La impedancia de un elemento de fase constante depende de la frecuencia según indica la ecuación 2:

$$Zcpe = Y^{-1} (jw)^{-N} \qquad (2)$$

en donde Y es la admitancia, w es la frecuencia angular y j es $\sqrt{-1}$.

Cuando la superficie del electrodo es rugosa o la conductividad de la capa de óxido cambia con la distancia a través de la película, N varía entre 0.5 y 1.

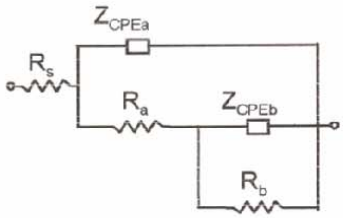


Figura 5. Circuito equivalente para superficies con películas protectoras.

El ajuste resultante fue muy bueno con un error de calculo inferior al 5 % en promedio. Los parámetros obtenidos a partir del ajuste para cada condición estudiada se presentan en la tabla I.

Tabla I. Parámetros circuitales obtenidos por ajuste del circuito equivalente.

Elemento	2 hs	24 hs	192 hs
Rs ($\Omega.cm^2$)	193	157	241
Zcpea ($\Omega^{-1}.cm^{-2}.S^N$)	3.5×10^{-5}	1.5×10^{-5}	2.2×10^{-5}
Na	0.82	0.87	0.83
Ra ($\Omega.cm^2$)	647	3318	29531
Zcpeb ($\Omega^{-1}.cm^{-2}.S^N$)	5.8×10^{-4}	7.7×10^{-5}	4.8×10^{-5}
Nb	0.54	0.56	0.60
Rb ($\Omega.cm^2$)	27502	115410	238570

Para determinar las corrientes de corrosión a 2 y 192 hs ($icorr_{Rp}$) a partir de los valores de Rp, las pendientes de Tafel se calcularon a partir de curvas de polarización anódicas (βa) y catódicas (βc). En la tabla II se presentan promedios de las pendientes de Tafel calculadas, así como los valores del coeficiente B (ver ec. 1).

Tabla II. Pendientes de Tafel obtenidas a partir de curvas de polarización anódicas y catódicas (promedio de 4 repeticiones), luego de 2 y 192 hs al potencial de corrosión (velocidad de barrido: 0.1 mV s^{-1}).

Tiempo	βa (V)	βc (V)	B (V)
2 hs	0.054	0.045	0.011
192 hs	0.064	0.086	0.016

Para evaluar la corriente de corrosión ($icorr_{pol}$), se empleó también el método gráfico de la intersección de las curvas de polarización anódicas y catódicas. En la figura 6 se presentan las curvas de polarización para latón, luego de 2 y 192 hs al potencial de corrosión en agua potable.

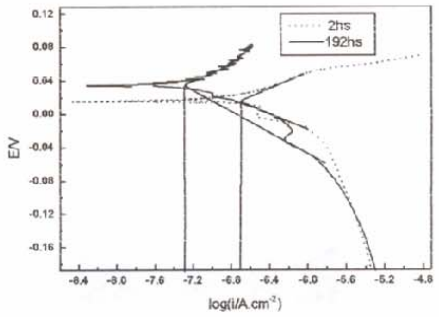


Figura 6. Curvas de polarización anódicas y catódicas para latón, luego de 2 y 192 hs al potencial de corrosión en agua potable (velocidad de barrido: 0.1 mV s^{-1}).

Paralelamente, se realizaron ensayos de pérdida de peso. Luego de 90 días de inmersión en agua potable, los cupones de latón muestran una pérdida de peso de 0.175 ± 0.04 mg cm^{-2}. Se observó demás que los cupones presentaron picado.

A partir de los resultados obtenidos mediante el ensayo de pérdida de peso se calculó la corriente de corrosión ($icorr_{per}$) para el blanco y el cultivo empleando la ley de Faraday, según la ecuación (3) [9].

$$icorr_{per} = m.F / A.t.Peq \qquad (3)$$

donde m es masa perdida, F es la cte. de Faraday, A es el área expuesta, t es el tiempo y Peq es el peso equivalente.

Para el cálculo del peso equivalente se consideró la composición de la aleación y que el cobre participa en la película como Cu_2O [10].

$$Peq_{aleación} = f_i . Peq_i \qquad (5)$$

dónde f_i es la fracción de elemento i en la aleación

En la tabla III se presentan los valores de corriente de corrosión obtenidos a partir de las medidas de Rp ($icorr_{Rp}$) y de las curvas de polarización ($icorr_{pol}$), y se comparan con los obtenidos a partir del ensayo de pérdida de peso ($icorr_{per}$), calculados a partir de la ley de Faraday.

Tabla III. Densidades de corriente de corrosión calculadas por métodos electroquímicos y por pérdida de peso.

Tiempo	$icorr_{Rp}$ ($A.cm^{-2}$)	$icorr_{pol}$ ($A.cm^{-2}$)	$icorr_{per}$ ($A.cm^{-2}$)
2 hs	3.2×10^{-7}	2×10^{-7}	3.9×10^{-8}
192 hs	6.5×10^{-8}	5×10^{-8}	

4. Discusión

Los valores de Rp obtenidos por los diferentes métodos electroquímicos muestran buena concordancia, y presentan un aumento en el tiempo. Consecuentemente, la corriente de corrosión disminuye, lo cual puede atribuirse al crecimiento de una capa de óxido sobre la superficie metálica [11].

Los diagramas de impedancia indican la presencia de dos constantes de tiempo que pueden asociarse con diferentes procesos ocurriendo sobre la superficie del sustrato. En el caso del latón, el ángulo de fase en el intervalo de altas frecuencias puede ser atribuido a la formación de una película superficial de óxido [7]. En los diagramas de Bode del tipo $\log f$ vs. θ (figura 3) se observa que en la región de bajas frecuencias el ángulo de fase disminuye gradualmente alejándose de los 90°, valor que corresponde a un comportamiento capacitivo puro. Esto es un indicio de la presencia de poros en la película, dentro de los cuales se dan efectos de relajación y difusión [7]. Por lo tanto, los parámetros obtenidos del circuito eléctrico equivalente para los componentes designados como "b" se pueden asociar con los procesos faradaicos que ocurren en el fondo del poro, o sea sobre la superficie del metal. Los denotados como "a", en tanto, se relacionarían a la capa de óxido (figura 5).

Los resultados presentados en la tabla I indican que tanto Na como Nb se mantiene constantes en el tiempo, por lo cual se puede inferir que la superficie conserva el grado de inhomogeneidad inicial [8].

Considerando que tanto Na como Nb no varían con el tiempo podemos estimar el comportamiento de un elemento de fase constante como si fuera una capacidad ideal.

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 (A / d) \qquad (5)$$

donde C es la capacidad, ε_0 es la constante dieléctrica del vacío, ε es la constante dieléctrica de la capa de óxido, A es el área del capacitor y d es el espesor de la doble capa [8].

Los resultados presentados en la tabla I muestran que Zcpea no varía entre 2 y 192 hs lo cual puede atribuirse a que junto con el incremento del espesor de la capa de óxido, ocurre una disminución del tamaño del poro. Por el contrario Zcpeb aumenta en un orden de magnitud al cabo de 24 hs porque en la base del poro el área de sustrato metálico expuesta al electrolito disminuye. Entre 24 y 192 hs Zcpeb no presentó variaciones importantes debido a que el óxido inicialmente crece rápido, siguiendo una relación logarítmica con el tiempo [12].

De esta manera, la resistencia Ra estaría relacionada con la resistencia en los poros de la película. Los mayores valores de Ra observados al incrementarse el tiempo (tabla I) se pueden asociar a un menor tamaño de poros, que se correspondería con la formación de una película más compacta. Esto se relaciona con una mejor resistencia a la corrosión y por lo tanto, con mayores valores de Rb.

En la figura 6 se observa que la corriente anódica decrece marcadamente con el incremento del tiempo de inmersión, pero es poco el efecto sobre el proceso catódico de reducción. Esto indicaría que el aumento de espesor de la capa de óxido dificultaría la difusión de los iones metálicos en la película superficial [11].

Se observa buen acuerdo entre los valores de corriente de corrosión medidos en agua potable tanto por técnicas electroquímicas, como mediante pérdida de peso. El latón muestra mediante medidas electroquímicas, corrientes de corrosión más altas al cabo de 2 hs (tabla III). Luego la corriente disminuye con el tiempo de exposición, hasta alcanzar valores cercanos a los obtenidos a partir del ensayo de pérdida de peso.

5. Conclusiones

La velocidad de corrosión de latón al aluminio en agua potable sintética se evaluó en el tiempo. Se encontró muy buena concordancia tanto entre los resultados obtenidos por diversos métodos electroquímicos y espectro-electroquímicos, como mediante mediciones clásicas de pérdida de peso.

Se observó que la corriente de corrosión disminuye con el tiempo, lo cual se atribuye a la formación de una película porosa. Los resultados de impedancia electroquímica muestran que a medida que los poros se cierran, la película se torna más compacta y por lo tanto más protectora.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por subsidios del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina, CONICET (PIP 02570) y la Universidad Nacional de Mar del Plata (Proyecto 15/G115). Una de las autoras (MBV) es becaria de posgrado del CONICET.

7. Referencias

[1] C.A.C. Sequeira. British Corrosion Journal, **30**(2), 1995, pp. 137-153.

[2] D. Wagner, and A.H.L. Chamberlain, Biodegradation, **8,** 1997, pp. 177-187.

[3] B.J. Webster, S.E. Werner, D.B. Wells and P.J. Bremer. Corrosion, **56**(9), 2000, pp. 942-950.

[4] J. Morales, G.T. Fernandez,, P. Esparza, S. Gonzalez, R.C. Salvarezza and J. Arvia. Corrosion Science, **37**(2), 1995), pp. 211-229.

[5] Y. Feng, W.K. Teo, K.S. Siow and A.K. Hsieh. Corrosion Science, **38**(3), 1996, pp. 387-395.

[6] M. Stern and A. L. Geary, Journal of Electrochemical Society. **104** (1957) 56.

[7] D.A. López, S.N. Simison, S.R. de Sánchez. Corrosion Science, 2004, in press.

[8] X. Zhang, S.O. Pehkonen, N. Kocherginsky and G.A. Ellis. Corrosion Science, **44**, 2002, pp. 2507-2528.

[9] D.A. Jones. Principles and prevention of corrosion. Ed. Macmillan Publishing Company, New York, 1992.

[10] M.B. Valcarce, M. Vázquez and S. Rosso. Corrosión Science, 2004, in press.

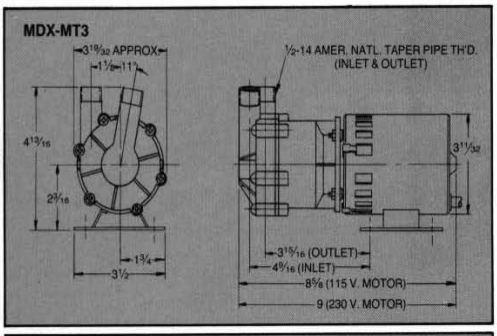
[11] Y. Feng, W.K. Teo, K.S. Siow and A.K. Hsieh. Corrosion Science, **38**(3), 1996, pp. 369-385.

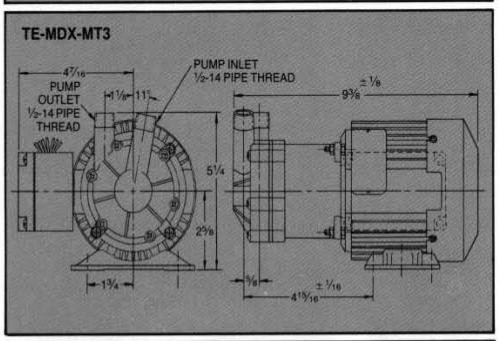
[12] M.B. Valcarce, M.V. Vázquez y S.R. de Sánchez. XIII Congreso Argentino de Fisicoquímica y Química Inorgánica, 2003, Bahía Blanca, Argentina. Libro de resúmenes tomo II, pp 215.

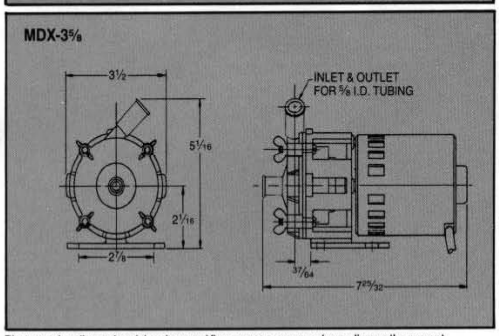
ANEXO F. ESPECIFICACIONES BOMBA CENTRIFUGA

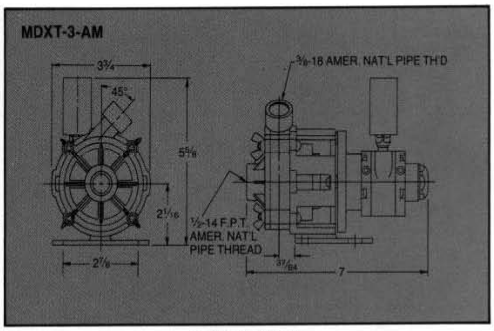
Specifications

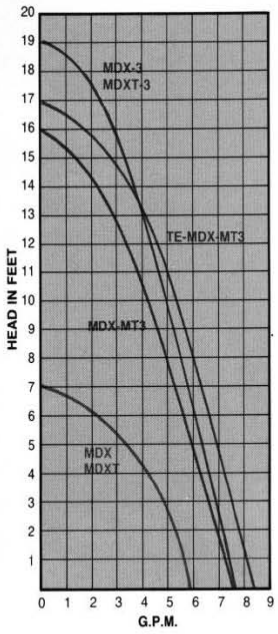
max. flow	7.6 gpm
max. flow	30 lpm
max. head	19 ft.
max. head	4 m
inlet	5/8" OD
outlet	5/8" OD
hp	1/25
kw	.029
rpm	3400 us
rpm	2600 metric
volts	115 us
volts	230 metric
hz	50/60 us
hz	50/60 metric
watts	108 us
watts	113 metric
amp	1.35 us
amp	0.73 metric
motor type	Air Cooled
eletrical connection	3ft.(.9M) SJTCord
max int. pressure	50 psi
max int. pressure	3.4 bar
max. liquid temp	190 °f
max. liquid temp	87 °c
weight packed	6 lbs
weight packed	3 kg
materials in contact with solution	ceramic magnet Glass filled polypropylene Kynar®, Ryton®, Buna N

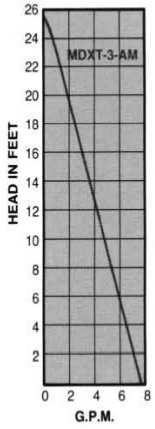












MARCH PUMPS

Photographs, dimensional drawings and flow curves may vary depending on the current motors being used. Contact your local distributor for accurate current data for layout purposes.

MADE IN USA

ELECTRIC MOTORS

Model	Max. Flow GPM	Max. Head Ft.	Inlet	Outlet	HP	RPM	Volts★	PH	Hz	Watts	AMP	Motor Type	Electrical Connection	Materials★ in Contact with Solution	Max. Int. Press PSI	Max. Liquid Temp.°F	Wt. Packed Lbs.
MDX-½	5.5	7	½"OD	½"OD										Glass filled polypropylene, Kynar,® Ryton,® Buna N, Ceramic magnet			
MDX-⅝	6.0	7	⅝"OD	⅝"OD	1/50	1700	115	1	60	64	.85	AC			50	190	5½
MDXT	6.0	7	½"FPT	⅜"FPT										Glass filled polypropylene, Ceramic shaft & thrust washer, Ceramic magnet, Buna N			
MDXT-3	7.6	19	½"FPT	⅜"FPT									3 ft. SJT Cord				
MDX-3½	7.6	19	½"OD	½"OD	1/25	3400	115	1	50/60	108	1.35	AC		Glass filled polypropylene, Kynar,® Ryton,® Buna N, Ceramic magnet	50	190	6
MDX-3⅝	7.6	19	⅝"OD	⅝"OD													
MDX-MT3	7.6	16	½"MPT	½"MPT	1/25	3400	115	1	50/60	110	1.35	AC		Ryton, Ceramic, Viton®	75	200	6½
TE-MDX-MT3	8.4	17	½"MPT	½"MPT	1/15	3450	115/230	1	50/60	130	.86/.43	TEFC	Conduit Box	Ryton, Ceramic, Viton®	75	200	10
TE-MDK-MT3	8.4	17	½"MPT	½"MPT										Kynar, Ceramic, Viton®	75	200	10

AIR MOTORS

Model	Max. Flow GPM	Max. Head Ft.	Inlet	Outlet	HP	RPM◆	Max. Air Press. PSI	Max. CFM Req'd	—	—	—	Motor Type	—	Materials★ in Contact with Solution	Max. Int. Press PSI	Max. Liquid Temp.°F	Wt. Packed Lbs.
MDX-3½-AM	7.8	26	½"OD	½"OD	1/8	2600	21	3				AM					
MDX-3⅝-AM	7.8	26	⅝"OD	⅝"OD	1/8	2600	21	3				AM		Glass filled polypropylene, Buna N, Ceramic magnet	50	190	4
MDXT-3-AM	7.8	26	½"FPT	⅜"FPT	1/8	2600	21	3				AM					
MDX-MT3-AM	8.6	26	½"MPT	½"MPT	1/8	2600	21	3				AM		Ryton, Ceramic, Viton®	75	200	4
MDK-MT3-AM	8.6	26	½"MPT	½"MPT	1/8	2600	21	3				AM		Kynar, Ceramic, Viton®	75	200	4

★Other materials and voltages available on special order.
◆ RPM at wide open flow and O head, RPM increases as head is increased.

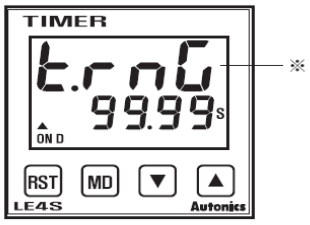
Explosion proof motors available on TE-MDX-MT3 and TE-MDK-MT3.

ANEXO G. CATÁLOGO TEMPORIZADOR

LE4S Series

▣Time range (MD press key for 3sec)

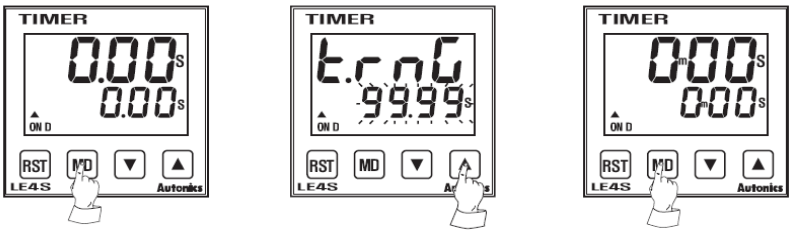
●Time range specification



※trnG is displayed characteristic in LCD of Time range. It will be displayed continuously until the time range selection is completed.

Time range	Time range specification
99.99s	0.01sec ~ 99.99sec
999.9s	0.1sec ~ 999.9sec
9999s	1sec ~ 9999sec
99m59s	1m01sec ~ 99min 59sec
999.9m	0.1min ~ 999.9min
9999m	1min ~ 9999min
99h59m	1h01min ~ 99hour 59min
99.99h	0.01hour ~ 99.99hour
999.9h	0.1hour ~ 999.9hour
9999h	1hour ~ 9999hour

●Time range selection method(**99m 59sec**)

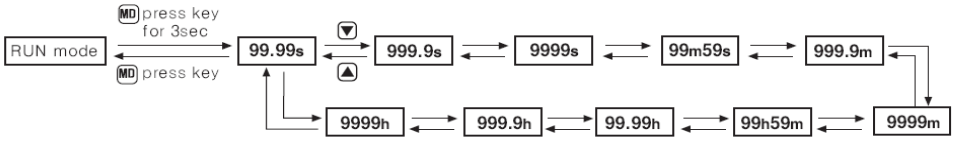


(Picture 1) (Picture 2) (Picture 3)

1) Pressing MD key for 3sec.in RUN mode, it will enter into Time range selection mode. (Picture 1)
2) After entering into the time range mode, "**99.99s**" will be displayed as factory default setting. (Picture 2)
3) Select time range as **99m59s** by pressing ▼ and ▲ keys (Press ▲ key 3times)
4) Press MD key and Time range selection will be completed and return to RUN mode. (Picture 3)

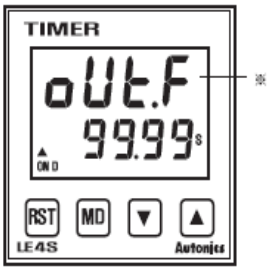
※If no keys touched for 30sec., it will return to RUN mode.
※Pressing MD key, output contact(1c.1c) of factory default setting(**LE4SA**) will be displayed before entering into setting mode.

※Time range flow chart



▣Output operation mode and function selection(MD press key for 5sec)

●Output operation mode by each model



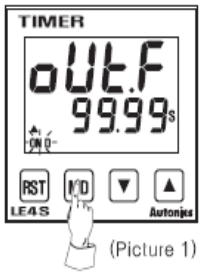
※"oUt.F" is a displayed characteristic in LCD display. It will be displayed continuously until the output operation selection is completed.

NO	Display	LE4S	LE4SA	Note
1	ON D	ON DELAY	ON DELAY	
2	ON D I	ON DELAY1	Non function	
3	ON D II	ON DELAY2(One-shot out)	ON DELAY2	※1
4	F K	FLICKER	FLICKER	※2
5	F K I	FLICKER1	Non function	
6	INT	INTERVAL-DELAY	INTERVAL-DELAY	
7	INT I	INTERVAL-DELAY1	Non function	
8	ON OFF D	ON-OFF DELAY	Non function	
9	ON OFF D I	ON-OFF DELAY1	Non function	
10	OFF D	OFF DELAY	Non function	
11	⅄-Δ	Non function	⅄-Δ TIMER	
12	T	Non function	TWIN TIMER	
13	T I	Non function	TWIN TIMER 1	

(※1)Output of **ON D II** mode is One-shot output and output operation time is fixed as 0.5sec.

(※2)Able to set Ton and Toff time differently in "FK, FK 1".

●Output operation selection



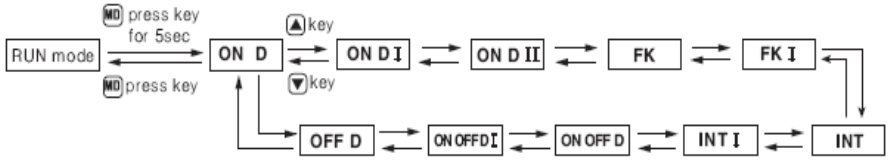
(Picture 1)

1) Pressing MD key for 5sec.in RUN mode, it will enter into output operation selection mode then "ON D"will flicker. (Picture1)
2) After selecting output operation mode by pressing ▼, ▲ key then press MD key.
※▲ key : Shift to CW
※▼ key : Shift to CCW
3) Pressing MD key to complete output operation then will move to UP/DOWN selection mode.

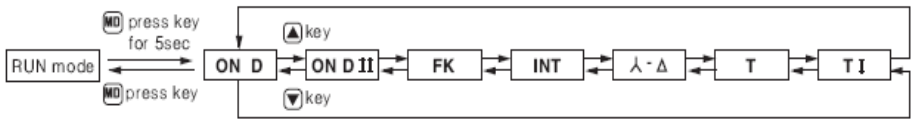
※If no key touched for 30sec. it will return to RUN mode
※Pressing MD key, output contact(1c.1c) of factory default setting(**LE4SA**) will be displayed before entering into setting mode.

※Output operation mode flow chart

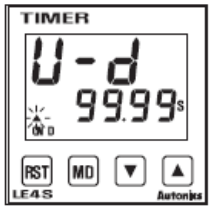
〈**LE4S**〉



〈**LE4SA**〉



●UP/DOWN selection



1) After entering into this mode, "U-d"will be displayed then "▲" will flicker.
2) After selecting UP(▲), DOWN(▼) by pressing ▼, ▲ then press MD key.

3) Press MD key, UP/DOWN will be completed then move to key lock(LE4S) mode or move to output contact selection mode(LE4SA).

※"U-d" is a display of UP-DOWN in LCD display.It will be displayed continuously until the selection is completed.
※If no key touched for 30sec., it will return to RUN mode.

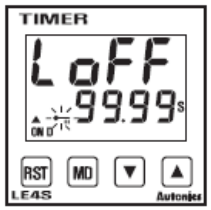
●Output contact selection(Available in **LE4SA** only)

1) Factory default setting is Instantaneous 1c + Time limit 1c.
2) Select proper output contact for output operation mode by ▼ and ▲ key.

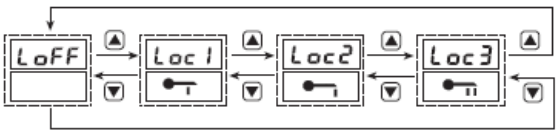
3) After selecting output contact then press MD key.
4) Pressing MD key will complete output contact selection then move to key lock selection mode.

※Pressing MD key in RUN mode, will enable you to check the output contact. Be sure not to press MD more than 3 sec. (It will enter into another mode)
※"cont" is a displayed characteristic of output contact in LCD display.It will be displayed continuously until the selection is completed.
※If no key touched for 30sec., it will return to RUN mode.

●Key Lock selection

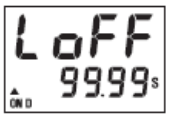


1) Factory default setting is Lock OFF.
2) Please select Key Lock by pressing ▼, ▲.

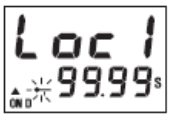


3) Press MD key to complete key lock selection and then return to RUN mode.
※If no key touched for 30sec., it will return to RUN mode.

※Key Lock function



Lock mode turns off



RST key cannot use

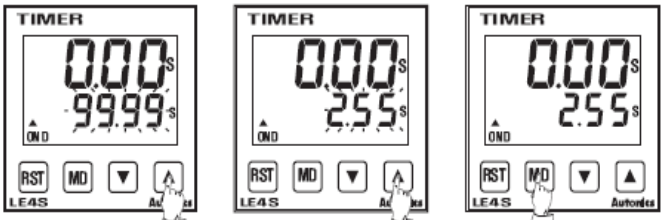
▼, ▲key cannot use at setting time range and mode.

RST key, ▼, ▲key cannot use

▣The time setting

Please set operation time according to following instruction as the setting is different depending on the output operation mode.

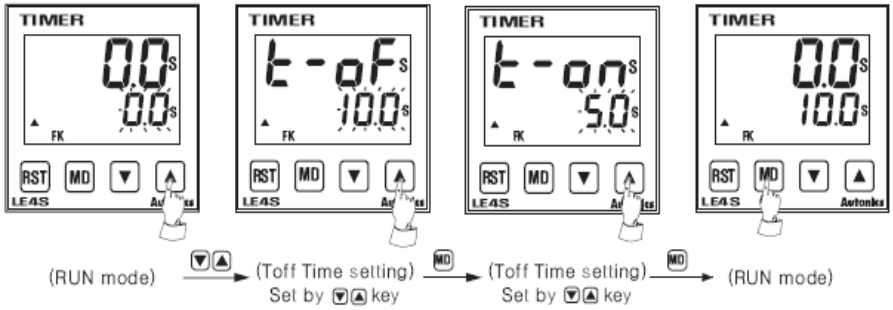
●Output operation mode : **ON D, OND I, OND II, INT, INT I, ON OFF D, ON OFF D I, OFF D**



(Picture 1) (Picture 2) (Picture 3)

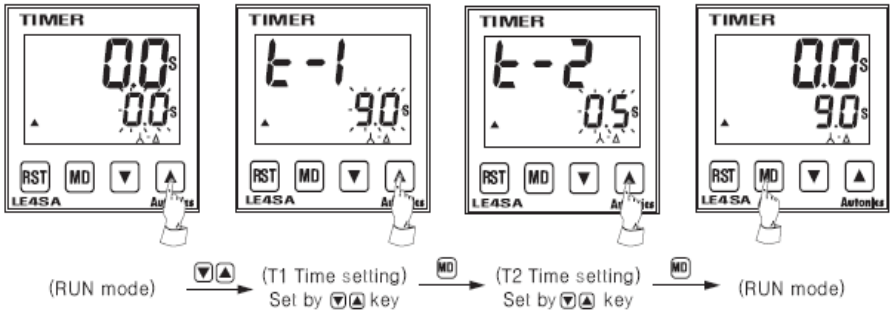
1) Display of setting time will be flickering when you press ▼ or ▲ key at RUN mode. (Picture 1)
2) And then set the setting time with ▼ or ▲ key. If you press ▲ key once, it will increase by 1 digit.
If you keep it pressed, the number will continually increase. Pressing the key longer than 2sec, will cause the number to increase faster. (Picture 2)
If you press ▼ key once, the number will decrease in the same manner. (Picture 3)
3) When the setting is complete, it will be saved and return to RUN mode by pressing MD key. (Picture 4)
※You change the setting time while the unit is timing.
※If the set value is 0, "Err" will be displayed. ("Err" will be removed by pressing ▼, ▲ key)
※If no key touched for 30sec., it will return to RUN mode.

●Output operation mode : **FK, FK I** (There is no **[FK I]** in **LE4SA)**



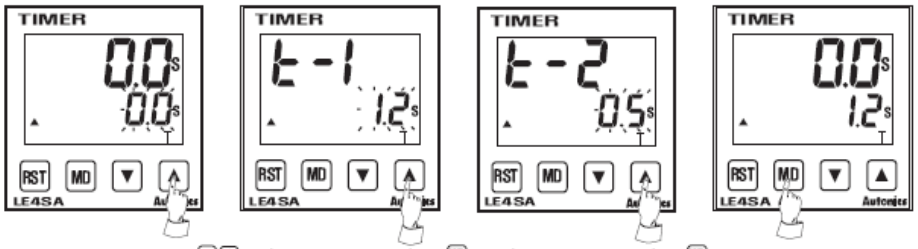
※Ton and Toff can be set differently.

●Output operation mode : START – DELTA (⅄-Δ) **(LE4SA only.)**



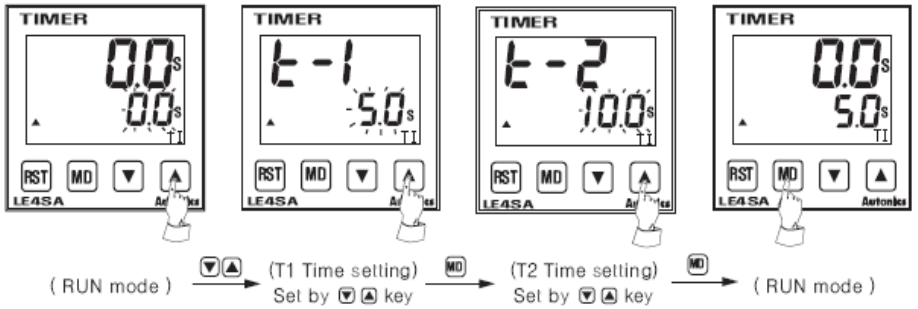
※T1 : Setting time, T2 : ⅄-Δ switching time
※ T1 setting time range : 0.1s~9999h, T2 setting time range : 0.05s~9999h
☞ If T2 is longer than 0.05sec, "Err" will be displayed.

●Output operation mode : TWIN TIMER [T] (**LE4SA** only)



※T1 and T2 can be set differently.

●Output operation mode : TWIN TIMER(T I) (**LE4SA** only)



※T1 and T2 can be set differently.

ANEXO H. MANUAL USUÁRIO *SPEVCEM2742*

MANUAL DE USUARIO EQUIPO SPEVCEM2742
❖ PRECAUCIONES DE SEGURIDAD
o Advertencias
o Atención
❖ INSTRUCCIONES DE MANEJO
o Descripción del SPEVCEM2742
o Control de Operación del equipo
Operación tablero de control SPEVCEM2742
Modo de funcionamiento y operación.
➢ Ajustes de variables
▪ Velocidad de impacto del chorro.
▪ Angulo de impacto
▪ Tiempo de prueba.
o Equipos Adicionales.
➢ SCAP363
❖ LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO
o Limpieza después de pruebas.
o Mantenimiento periódico del equipo.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

.

Para evitar lesiones al usuario o a otras personas y daños materiales, se deben respetar las siguientes instrucciones.

Un uso incorrecto por ignorar las instrucciones provocara lesiones o daños. La gravedad de los posibles daños se clasifican mediante las siguientes indicaciones.

ADVERTENCIAS :

- Este símbolo señala la posibilidad de provocar lesiones graves o la muerte.

ATENCIÓN:

- Este símbolo indica solo la posibilidad de lesiones o daños personales.

NO HAGA NUNCA ESTO

HAGA ESTO SIEMPRE

ADVERTENCIA

Enchufe correctamente el cable de la corriente.

En caso contrario se provocara descargas o incendios debidos a la generación de calor o descargas eléctricas.

No modifique la longitud del cable de la corriente ni utilice la misma toma de corriente para otros aparatos.

Provocara descargas eléctricas o incendios debido a la generación de calor.

No ponga en marcha o detenga el equipo enchufando o desenchufando el cable de la corriente.

Provocara descargas eléctricas.

No abra la válvula entre el tanque y la electrobomba antes de agitar la solución.

Posible desgaste en el impeler o impulsor y la carcasa por partículas sólidas no disueltas.

No ponga en funcionamiento la Electrobomba sin antes revisar que las válvulas a la entrada de la Electrobomba y el tanque inferior este abierta.

Provocara mal funcionamiento de la electrobomba y calentamiento del motor.

No ponga en funcionamiento la electrobomba sin antes revisar que el nivelen el tanque sea el mínimo para operación.

Provocara mal funcionamiento de la electrobomba y calentamiento del motor.

⚠ ADVERTENCIA

Si el equipo emitiera ruidos extraños o generara humo, desenchufe el cable de la corriente.

Se puede provocar accidentes por incendios o descargas eléctricas.

Realice siempre una inspección a los tanques antes y después de depositar la solución.

La presencia de objetos extraños podría ocasionar daños en el agitador, electrobomba, válvulas tanques.

No utilice herramientas que despiden calor cerca del equipo

Puede provocar incendios y daños irreparables el los tanques de acrílico.

No utilice herramientas para ajuste durante el funcionamiento del equipo.

Podría ocasionar daños el los componentes electromecánicos y ruptura de los tanques de almacenamiento.

Si se produjera alguna fuga del fluido, evite que el agua o la solución entre en los componentes eléctricos, sequé inmediatamente después de haber desconectado la maquina

Puede causar daños en el equipo y descargas eléctricas.

No deslice o mueva el equipo durante su funcionamiento.

Puede provocar que el fluido se derrame y que los resultados de la prueba no sean repetitivos.

No suministre la solución en el tanque inferior sin antes haber revisado que las válvulas a la salida del tanque se encuentren cerradas.

Podría causar desgaste en el impeler de la electrobomba por presencia de partículas extrañas y/o derrame del fluido

No utilice soluciones con concentraciones mayores o diferentes a la solución de trabajo recomendadas.

Causarían daños en los elementos de monitoreo y equipos electromecánicos.

No abra la puerta del tablero de control sin antes haber desconectado el equipo.

Puede ocasionar descargas

Si se produjera alguna fuga del fluido, detenga la maquina, desconéctela y seguidamente corrija la fuga.

Puede causar daños en el equipo y descargas eléctricas.

No utilice el cable de la corriente cerca de gases inflamables o sustancias que puedan encenderse. (Benceno, Gasolina, etc.)

Puede provocar una explosión o un incendio.

No desmonte ni modifique ningún componente.

Puede provocar fallos en el funcionamiento del equipo y/o descargas eléctricas

ATENCION

Cuando limpie el equipo asegúrese primero que el suministro de energía y el interruptor estén desconectados.

Como el agitador gira a gran velocidad durante el funcionamiento puede causar lesiones.

No utilice detergentes fuertes como ceras o diluyentes. Utilice un paño suave.

El aspecto externo puede deteriorarse debido a cambios en el color del producto o al rayado de su superficie.

No utilice el equipo para otros fines a los establecidos

Puede ocasionar daños irreparables en los componentes del equipo.

Desconecte el interruptor principal cuando no se vaya a utilizar el equipo durante un prolongado espacio de tiempo.

Puede causar daños en el equipo y descargas eléctricas.

No coloque objetos pesados sobre el equipo, o sobre el cable de la corriente y tenga cuidado de que este no resulte presionado por ningún objeto.

Existe peligro de incendio o descargas

Instale correctamente los electrodos, límpielos cada vez que se utilicen.

Puede provocar errores en la toma de datos

No ingiera la solución que se encuentra en el equipo.

Puede provocar desordenes estomacales

Asegúrese de que los empaques de las conexiones rápidas estén en su puesto y en buen estado después de un uso prolongado

Puede provocar fallos en el funcionamiento del equipo y/o descargas eléctricas

INSTRUCCIONES DE MANEJO

DESCRIPCIÓN DEL SPEVCEM2742

El equipo *SPEVCM2742* (figura 1) funciona de la siguiente manera: una mezcla de cloruro de sodio (NaCl) y agua aproximadamente 50 litros, es depositada en un tanque de almacenamiento con capacidad de 100 litros (figura 1-10) ubicado en la parte inferior del equipo, en donde la solución es succionada por una bomba centrifuga (Figura1-11) y es llevada hasta una boquilla de entrada a ½" con salida de 4mm por medio de una línea de tubería y mangueras de ½" (Figura 1-12) con una velocidad de flujo máxima de 1.6 G/m. En la boquilla, puede acelerarse la solución hasta una velocidad de 8 m/s e impactar la cara plana de una probeta; la cual por medio de una serie de electrodos ubicados en la tapa de la celda de carga permite la interacción con otros equipos para realizar pruebas electroquímicas y evaluar la velocidad de corrosión y perdida de masa por erosión en las muestras. También cabe a notar que el equipo permite variar el ángulo de impacto del chorro (figura 1-9) sobre la cara de la probeta de 0 a 90° (figura 1-9), además cuenta con un tablero de control donde se establecen los puerto de conexión con el potenciostato y se controlan las puestas en marcha y parada de los diferentes equipos (bomba y agitador).

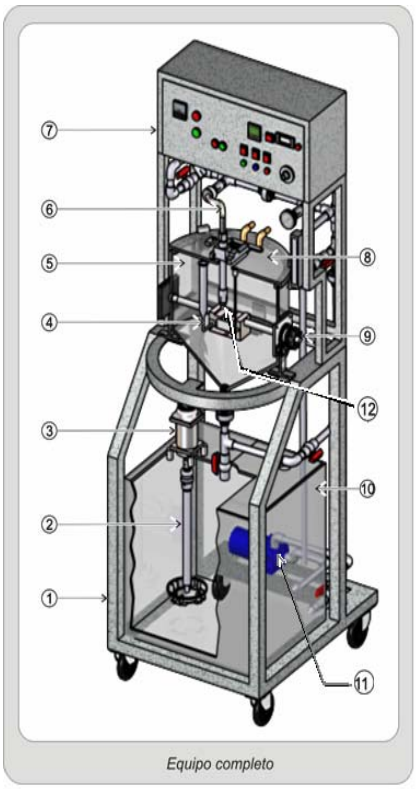


Figura 1

Lista de partes equipo SPEVCEM2742			
Nro.	Nombre	Nro.	Nombre
1	Estructura	7	Caja de control
2	Agitador.	8	Tapa Celda de Carga
3	Motor-Reductor Dispositivo de Agitación	9	Mecanismo Variador de Ángulo
4	Mecanismo Portaprobeta	10	Tanque de Almacenamiento
5	Celda de Carga	11	Bomba centrifuga
6	Línea Conexión Boquilla	12	Boquilla

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Operación tablero de control SPEVCEM2742

1. Para operar el equipo se necesita alimentarlo con línea de 110 V monofásica. Es necesario visualizar y activar el interruptor principal de alimentación ubicado en la parte lateral izquierda (figura 2-1).

2. Seguidamente en la parte frontal del tablero se encenderá una luz roja indicando la energización del circuito (figura 2 -3).

3. Para Energizar la Electrobomba debe accionar el interruptor **BOMBA** (figura 2- 9). Se verifica que esta energizada siempre y cuando el indicador rojo (figura 2-15) este encendido. (la electrobomba no debe arrancar).Además debe tener en cuenta la posición del interruptor de control de operación **COB** (figura 3-10).

   - Interruptor de control de operación la electrobomba **COB** permite operar la electrobomba en dos posiciones (figura 3-10).

     I En esta posición se permite operar el equipo a diferentes velocidades de impacto con ayuda de la perilla (figura 3-13). (Se observa el panel LCD 12 encendido).ver ajustes de variables.

     II En esta posición se permite operar la maquina a máxima velocidad de impacto. (Se observa el panel LCD 12 apagado).

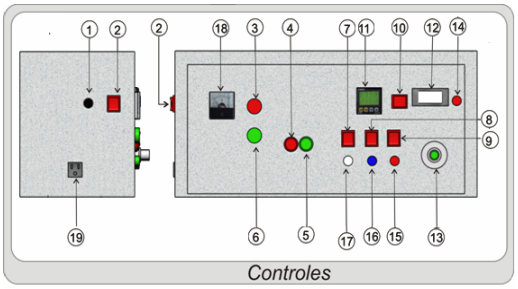


Figura 2

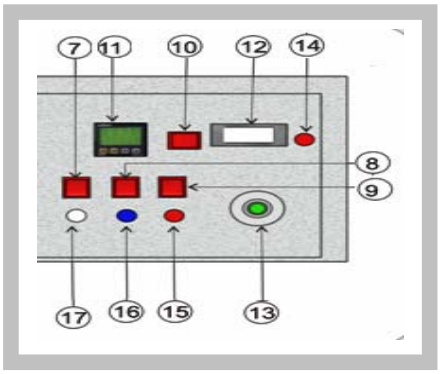


Figura 3

Lista de partes externas del tablero de control.			
Nro.	**Nombre**	**Nro.**	**Nombre**
1	Fusible	11	Temporizador
2	Interruptor Principal	12	Panel LCD Variador de voltaje
3	Indicador Energización del Circuito	13	Perilla para el ajuste de velocidad de flujo
4	Botón Paro de Emergencia	14	Indicador del variador de voltaje
5	Botón de Arranque	15	Indicador de activación de la bomba
6	Indicador puesta en marcha del Sistema	16	Indicador de activación del agitador
7	Interruptor **TEMPORIZADOR**	17	Indicador de activación del temporizador
8	Interruptor **AGITADOR**	18	Amperímetro
9	Interruptor **BOMBA**	19	Fuente equipo 110 V
10	Selector de control de velocidad **COB**		

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Operación tablero de control SPEVCEM2742

4. Para Energizar el Agitador debe accionar el interruptor **AGITADOR** (figura 4-8). Se verifica que esta energizado siempre y cuando el indicador azul (figura 4-16) este encendido. (el agitador no se accionara).

5. Para Energizar el Temporizador debe accionar el interruptor **TEMPORIZADOR** (figura4-7). Se verifica que esta energizado siempre y cuando el indicador blanco (figura 4-17) este encendido. (el temporizador no se activara).

    - Nota: Se recomienda al usuario usar el Temporizador; su manejo es breve y se describe en *ajustes de variables*, además si desea más información leer características del temporizador (Anexos libro tesis).

6. Para poner en marcha los elementos energizados en los numerales 3, 4 y 5, se debe accionar el botón verde ubicado en frente del tablero (figura 4-5).

7. Después de haber accionado el botón verde inmediatamente se encenderá el indicador verde (figura 4-6)) y se apagara el rojo (figura 4-3) indicando que los elementos eléctricos están en marcha

8. Contrario a esta acción pulsando el botón rojo ubicado al lado del botón verde y el cual sobre sale con respecto al tablero (figura 4-4)), se corta la energía a los equipos, ya sea por que la operación ejecutada lo requiere o por paros de emergencia en casos de que las pruebas estén controladas por el temporizador ver ejecución de la s pruebas.

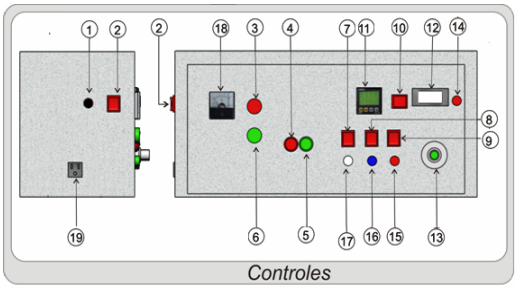


Figura 4

Figura 5

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Modo De Funcionamiento Y Operación

1. Ubique el equipo en el lugar de trabajo y accione los frenos de las ruedas.

2. Preparar 50 litros de la solución de trabajo.

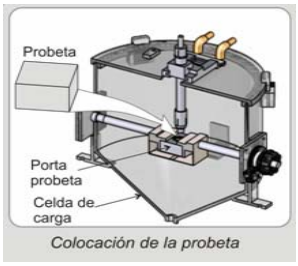
   - NOTA: El equipo permite utilizar soluciones de NaCl de hasta un 6% máximo de concentración por partes de agua totalmente solubles.
   -

3. Las pruebas se realizan colocando las muestras en inmersión total, para lo cual en el tanque debe introducir un volumen de solución capas de llenar la tolva hasta el nivel de trabajo y permitir que el nivel en el tanque permanezca sobre la toma de succión de la electrobomba (figura 6).Recomendable llenar el tanque de almacenamiento con 50 litros de solución.

Llenado del tanque de almacenamiento

Figura 6

4. La muestra a analizar debe situarse en el portaprobetas y acoplarla en la celda de carga (figura 7).para esta operación debe seguirse los siguientes pasos.



Colocación de la probeta

Figura 7

   I Retire la tapa de la tolva.

   - Verifique antes de retirar los pernos que sujetan la tapa de la celda de carga que únicamente el tubo Portaboquillas este alojado en el sistema de fijación de la tapa; de lo contrario retire los electrodos u objetos sobre ella siguiendo los pasos de limpieza de electrodos.(figura 8).Ver limpieza después de prueba-Electrodos.

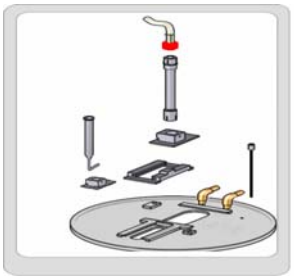


Figura 8

   - Desconecte la manguera (figura 8-7) acoplada al tubo-portaboquillas de la toma ubicada a la izquierda y debajo del tablero de control.

   - Proceda a soltar y retirar los pernos que sujetan la tapa ala tolva.

   - Retire la tapa.(figura 9)

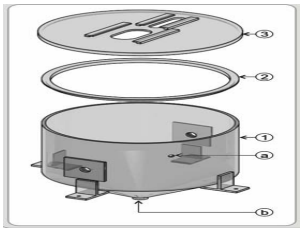


Figura 9

   II Retire el porta probetas (figura 10-1).

   III Luego de haber retirado el porta probetas:

   - Retire la tuerca que se encuentra enroscada en la parte inferior del portaprobetas con un destornillador de pala gruesa.(figura 11-5)

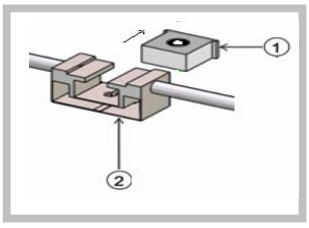


Figura 10

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Modo De Funcionamiento Y Operación

- Antes de hacer el montaje de la probeta recuerde lo siguiente.
  - Tamaño de la muestra (figura 11-1) a analizar debe ser de 1.5cm x 1.5cm de área máxima si es cuadrada y si es cilíndrica con un diámetro máximo de1.5cm.
  - Debe unirse un electrodo de trabajo (cable de cobre total mente forrado 50 cm de largo calibre 12) a la muestra por medio de un punto de soldadura.(figura 11-3)
  - En un molde que garantice que la probeta (figura 11-2) tendrá un diámetro de 3cm y una altura de 1.5 cm deposite la muestra de metal (figura 11-1) y recubra con baquelita, teniendo en cuenta dejar una cara de la muestra expuesta al ambiente.
  - La muestra debe cumplir con la norma ASTM G1 para su preparación.
- Realice el montaje de la muestra en el portaprobetas.
- Ajuste la tuerca del porta probetas de tal manera que la cara de la muestra a exponer quede bien centrada.

IV Lleve nuevamente el porta probetas al equipo.

- Ajuste el porta probetas en el equipo:
  - Coloque cuidadosamente el portaprobetas en la sujetador del portaprobetas.(figura 12).
  - Al colocar la tapa recuerde ajustar el electrodo de trabajo en el puerto establecido para conectarlo.(figura 13-(2-1))

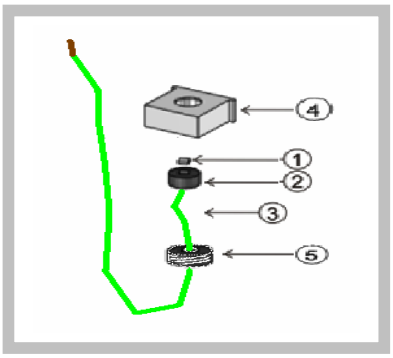


Figura 11

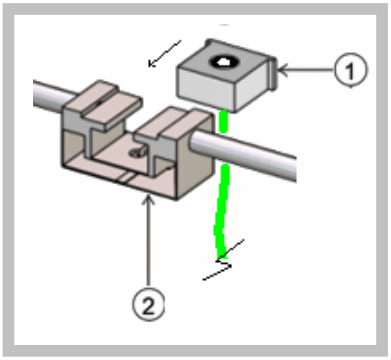


Figura 12

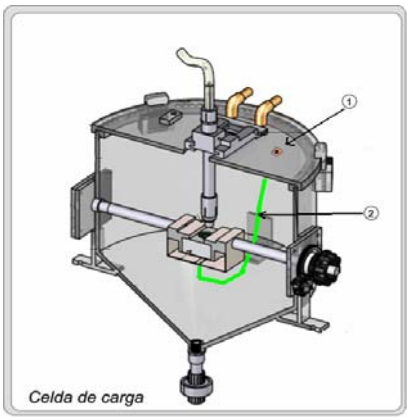


Figura 13

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Modo De Funcionamiento Y Operación

V Ubique nuevamente la tapa de la celda de carga.

- Después de haber tapado la tolva, asegúrese que los pernos que la unen a la tolva con la tapa estén bien ajustados.
- Ubique nuevamente el tubo portaboquilla en el carrito de posiciónamiento y conecte por medio de la manguera a la toma ubicada en la parte superior izquierda (figura 14-1).

Figura14

5. Después de haber realizado todos los ítems del numeral anterior proceda a graduar el ángulo con que desea que impacte el chorro la muestra. *Ver control de operación del equipo-ajustes de variables.*

6. Energice el tablero de control del SPEVCEM2742

7. Realice el ajuste de velocidad de impacto de chorro con que se va a llevar a cabo las pruebas, llene la celda de carga hasta el nivel de operación. *Ver control de operación del equipo-ajuste de variables*

8. Por medio del sistema móvil de posicionamiento de la boquilla (*Ver control de operación del equipo-ajuste de variables*) dispuesto sobre la tapa de la celda de carga (tolva) fije la boquilla de tal manera que se garantice el impacto de chorro sobre el área de cara de la muestra metálica ubicada en el portaprobetas.(figura 15)

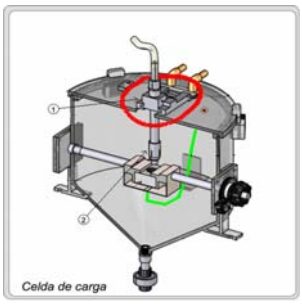


Figura 15

9. Proceda a ubicar y conectar los electrodos de referencia y contra electrodo siguiendo los siguientes pasos.

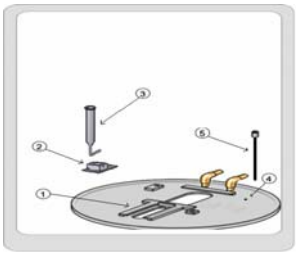


Figura 16

I Ubique el electrodo de referencia dentro del lugin de tal manera que este en condiciones de operación.

II Coloque el dispositivo móvil en la guía de la tapa de la celda de carga (figura 16-(2,3)).

III Introduzca el lugin con mucho cuidado (figura16-3) en el dispositivo móvil (figura 16-2).

IV Fije la punta del luguin lo mas cercano posible a la muestra a impactar, menos de 5mm (Figura 17).

V Ubique el contra electrodo (figura 16-5) en el orificio de la tapa de la celda de carga situado a la derecha de la tapa. (figura 16-4).

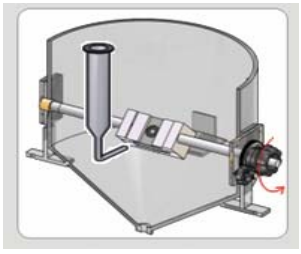


Figura 17

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Modo De Funcionamiento Y Operación

VI Realice la conexión de los electrodos al potenciostato de la siguiente manera.

- Terminal Rojo: Se conecta al contra-electrodo de la celda.(Figura 18-2)
- Terminal Verde: Se conecta al electrodo de trabajo de la celda.(Figura 18-3)
- Terminal Blanco: Se conecta al electrodo de referencia de la celda.(Figura 18-1)
- Terminal Negro: Disponible como una fuente de tierra de potencial. No es requerido conectarlo para ninguno de los modos de operación.

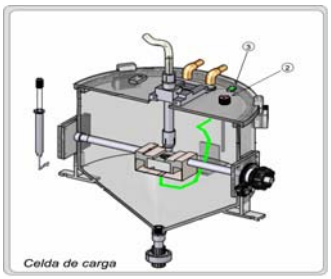


Figura 18

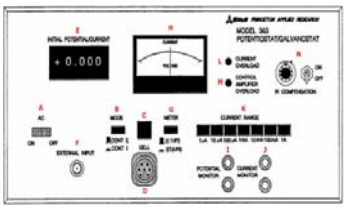


Figura 19

10. Conecte el SCAP363 (figura 20) al potenciostato ver manual SCAP363.Nota: Si el potenciostato no requiere un traductor de datos evite este paso.

11. Realice la lectura de las condiciones electroquímicas de la solución en reposo. Tener en cuenta que en la celda de carga la solución debe estar al nivel de trabajo.

12. Programe el tiempo de operación de la prueba. *Ver control de operación del equipo-ajuste de variables.*

Figura 20

13. Active los interruptores **BOMBA, AGITADOR Y TEMPORIZADOR**. Ver operación tablero de control.

    - Nota: En caso de no haber programado el temporizador no active el interruptor del temporizador y al terminar la toma de datos pare el equipo manualmente con el botón rojo en el tablero. Ver operación del tablero de control.

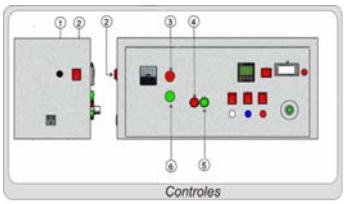


Figura 21

14. Proceda a arrancar el equipo oprimiendo el botón verde ubicado en el tablero de control. Ver operación del tablero de control.

15. Simultáneamente con la acción del numeral 13 ponga en funcionamiento el potenciostato y la toma de datos.

16. Una vez confirmados estos pasos, se proceda a girar la válvula de paso de la celda de carga (Figura 6-4) hasta un punto donde se mantenga constante el nivel en la celda de carga.

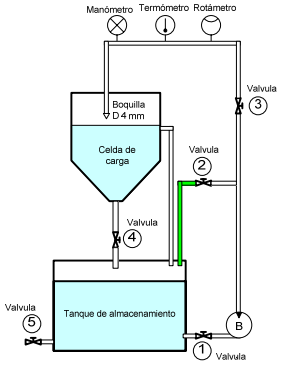


Figura 22

17. Después de haber terminado la prueba o pruebas ejecute el mantenimiento diario al equipo.(Ver limpieza de equipo)

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Ajustes de variables.

Velocidad de impacto de chorro

- Velocidad máxima de impacto del chorro del equipo SPEVCEM2742

  8 m/s

- Velocidad Mínima Monitoreable de impacto del chorro del equipo SPEVCEM2742

  2 m/s

- Parámetros necesarios y ecuación para establecer la velocidad de impacto del chorro.

  - D_b = Diámetro de salida de la boquilla (m) = 0.004 m
  - A_{boq} = Área de salida de la boquilla (m^2) = [π x (D_b^2)] / 4.
  - Q_{sal-bq} =Velocidad de Flujo a la salida de la boquilla.(m^3/s)
  - 15850.32 Galón / Minuto = 1 m^3 / s
  - Vel_{chorro}. = Velocidad de impacto del chorro (m/s).
  - Vel_{chorro} = [Q_{sal-bq} / A_{boq}] (m/s)

-Boquilla de D 4 mm para esta condición utilice la siguiente Ecuación:

Q(GPM) / [0.1991814 GPM/ m/s] = Vel_{chorro} (m/s)

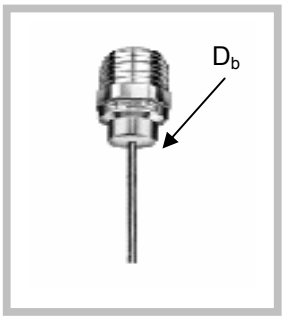


Figura 23

Figura 24

Ajuste de la Velocidad de impacto de chorro

Para ajustar la velocidad de impacto de chorro de trabajo el usuario deberá realizar los siguientes pasos.

1. Deslice el porta boquillas hacia atrás del equipo con el sistema de fijación del porta boquillas, esto con el fin de no impactar muestra antes de realizar la toma de datos.
2. Reconozca las válvulas 1,2 y 3 en el equipo y la ubicación de la perilla de control en el tablero y el rotametro (figura 24) en el cual se monitoreara la velocidad de flujo.
3. Verifique que la válvula 1 y 3 se encuentre totalmente abiertas y la válvula 2 cerrada.(figura 25)

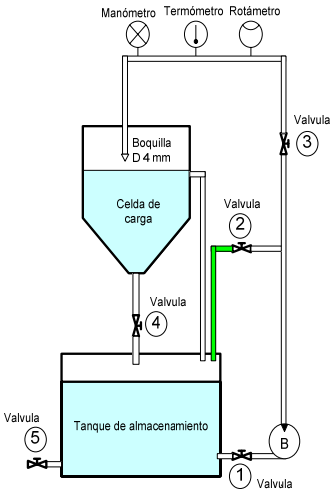


Figura 25

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Aiustes de variables.

4. A continuación seleccione en el tablero de control en el Selector de control de velocidad de flujo interruptor COB el modo de operación I o II.Ver operación tablero de control SPEVCEM2742.

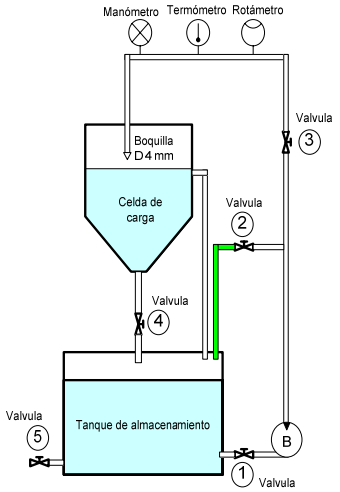


Figura 26

Figura 27

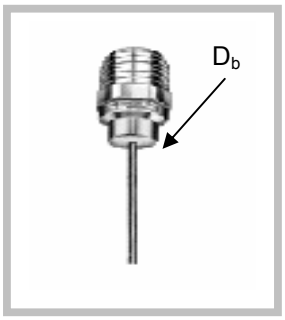


Figura 28

I. En esta posición se permite operar el equipo a la velocidad máxima 7 m/s asegurando primero haber ejecutado el paso del (numeral 3). NOTA También permite variar el flujo manipulando la válvula 3 esta acción no garantiza mucha precisión.

II. En esta posición se permite operar el equipo a diferentes velocidades de impacto con ayuda del variador de voltaje y las válvulas 2 y 3. (Se observa el panel LCD encendido).Ver operación tablero de control SPEVCEM2742.

A. Para establecer la a velocidad de flujo entre 0.6 G/min. a 1.6 g/min. se debe :

i. Gire la perilla suavemente del variador de voltaje en sentido antihorario, hasta su llegar a su tope.

ii. Verifique que la válvula 1 y 3 se encuentre totalmente abiertas y la válvula 2 totalmente cerrada.(figura 26)

iii. Ponga en marcha la electrobomba.

iv. Se deberá registra la máxima velocidad de flujo 1.6 G/min. aproximadamente.

v. Gire la perilla del variador de voltaje en sentido horario (cuatro vueltas y media máximo), notara que la velocidad de flujo disminuye gradualmente aproximadamente 1.2 G/min.

vi. Si la velocidad de flujo se encuentra en el rango de 1.2 GPM. a 1.6 GPM. Proceda a girar la perilla del variador de voltaje en sentido antihorario hasta hallar la velocidad de flujo requerida. NOTA: de estar la velocidad que desea por debajo de este rango siga el siguiente paso.

vii. Si la velocidad de flujo se encuentra en un rango de o6-1.2 GPM repita el primer paso (i) y luego gire aproximadamente 45° grado la válvula 2 hasta ajustar la velocidad de flujo a 1.2 GPM.

viii. Gire la perilla del variador de voltaje en sentido horario (3 vueltas y medias), notara que la velocidad de flujo disminuye aproximadamente de 0.6 GPM.

ix. Proceda a girar la perilla del variador de voltaje en sentido antihorario hasta hallar la velocidad de flujo requerida.

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Aiustes de variables.

Angulo de impacto

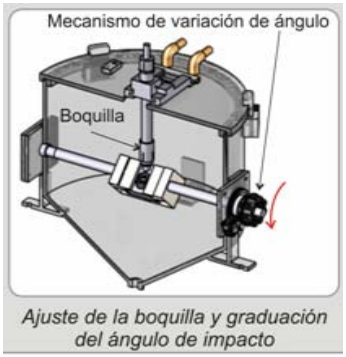
Para graduar el ángulo de impacto e debe:

- Asegúrese antes de girar el porta probetas que el lugin no se encuentra ubicado cerca , debe tener precaución ya que puede partirse con el porta probetas.

- Recuerde que el porta probetas debe gira siempre en sentido anti-horario de 0° a hasta100° ya que de hacerlo en sentido horario respecto a la lateral derecha del equipo, podría causar daños al lugin o porta electrodo.

- Para graduar el ángulo de impacto debe girar la perilla pequeña en sentido horario, esto hará que el eje gire en sentido horario transmitiéndole la rotación al porta probetas.

- Con la aguja ubicada en el piñón grande se determina la posición de ángulo mediante un transportador ubicado el el mecanismo y se fija la perilla pequeña para garantizar la fijación.



Ajuste de la boquilla y graduación del ángulo de impacto

Figura 29

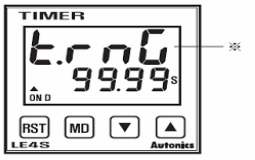


Figura 30

Tiempo de prueba.

Para programar el tiempo prueba siga los siguientes pasos.

- No necesita activar el interruptor TEMPORIZADOR

- Oprima el botón amarillo RST y se encenderá la pantalla LCD.(figura 30)

- Oprima el botón amarillo MD sostenidamente hasta que aparezca en la pantalla lo que se muestra en la figura 30.

- Oprimiendo el botón con la flecha hacia arriba escoja el tiempo en horas, minutos o segundos; dependiendo comoquiera controlar el tiempo.(Figura 32).

- Seguidamente oprima el botón RST brevemente.

- Quedara seleccionado en la pantalla la medida en que quiere controlar el tiempo de operación del equipo.

- Con las flechas busque el tiempo que desea programar, luego oprima sostenidamente la tecla MD y quedara programo el tiempo.

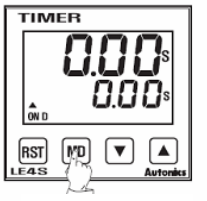


Figura 31

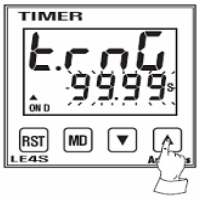


Figura 32

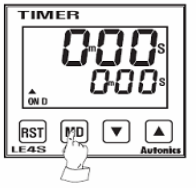


Figura 33

INSTRUCCIONES DE MANEJO

CONTROL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

Aiustes de variables.

Posicionamiento de la boquilla

Para posicionar la boquilla en el equipo siga los siguientes pasos:

- Revise la conexión de la manguera con el tubo porta boquilla y ajuste.
- Ubique el carrito 2 en el carrito 3,luego encaje el carrito 3 en la tapa de la celda de carga en las ranuras 6.ver figura 34
- Después de haber ajustado los carrito a la tapa. Deslice uno sobre el otro para confirmar el que mecanismo funciona.
- Ahora ubique el tubo porta boquilla 1 en el carrito 2 de tal manera que ajuste la parte superior del tubo en el orificio del carrito 2.Ver figura 34
- Fije en posición de trabajo después de haber ajustado la velocidad de trabajo.
- Ajuste los tornillos suavemente hasta fijar los carritos en el mecanismo, recuerde que el acrílico es frágil apreté con cuidado.

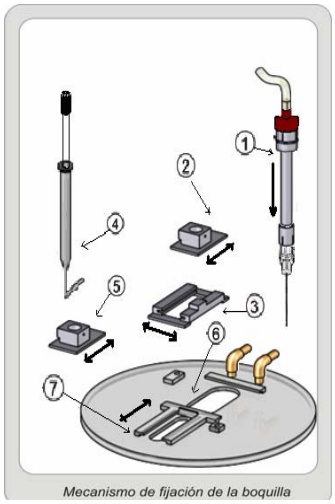


Figura 34

Posicionamiento del Lugin

Para posicionar el Lugin en el equipo siga los siguientes pasos:

- Ubique el carrito 5 en la tapa de la celda de carga en las ranuras 7.ver figura 34
- Ahora ubique el lugin con el electrodo de referencia 4 en el carrito 5 de tal manera que ajuste la parte superior del lugin en el orificio del carrito 5,puede hacer este ajuste mediante un corcho. Ver figura 34
- Fije en posición de trabajo después de haber ajustado el ángulo de impacto y retire tan pronto termine la prueba.
- Ajuste los tornillos suavemente hasta fijar los carritos en el mecanismo, recuerde que el acrílico es frágil apreté con cuidado.

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Limpieza después de pruebas

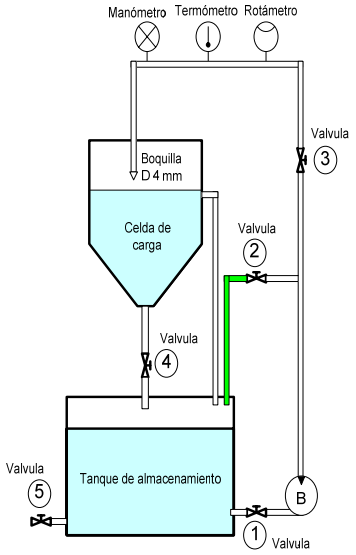


Figura 35

Figura 36

Tanques, Electrobomba, Tubería, Mangueras, Boquillas y Elementos de monitoreo.

1. Abra la válvula para evacuar la solución de la tolva en el tanque inferior.(Figura 11-4)
2. Evacue la solución del tanque inferior realizando los siguientes pasos:
   - I Desconecte la manguera verde de la válvula 2.
   - II Conecte la manguera auxiliar de 4 mts en lugar de la manguera verde, un extremo a la válvula 2 y el otro a un tanque externo o al sistema de desagüe del laboratorio.
     - *NOTA*: La solución establecida puede ser utilizada para varias pruebas, de manera que se puede almacenar en tanques externos, (Capacidad 50 lts); de lo contrario puede ser eliminada.
   - III Encienda el equipo, active la electrobomba, coloque en marcha y deténgala cuando el nivel de la solución en el tanque inferior se encuentre en el nivel mínimo de operación de la electrobomba.
   - IV Desconecte la manguera auxiliar y vuelva a conectar la manguera verde entre la válvula 2 y tanque.
   - V Ubique un recipiente de un volumen (1 a 2 Litros) no muy alto (15cm) a la salida de la válvula 5 de desagüe del tanque, ubicada en la parte inferior y detrás del tanque. Abra la válvula 5 y evacue la solución, después cierre.
     - *NOTA*: Sí el recipiente es de un volumen muy pequeño, repita este proceso hasta desalojar toda la solución del tanque.
     - *NOTA:* En caso de no querer guardar la solución proceda a conectar la manguera auxiliar a la válvula de desagüe de tanque, y lleve su otro extremo directamente al desagüe del laboratorio sin necesidad de realizar los pasos I, II, III y IV.

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Limpieza después de pruebas

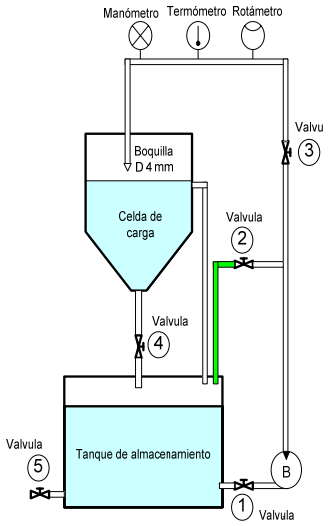


Figura 37

Tanques, Electrobomba, Tubería, Mangueras, Boquillas y Elementos de monitoreo.

3. Después de evacuar la solución proceda a cerrar las válvulas 5 y revise que el equipo esté dispuesto para operación según el circuito hidráulico de operación para prueba.
4. Deposite una solución de y jabón (25 litros H_2O + 40 Gr de detergente) en el tanque.

   - NOTA: nunca utilice lo siguiente:
     - Agua a una temperatura superior a 40ºC. Podría provocar deformaciones y/o pérdida del color.
     - Sustancias volátiles. Podrían dañar las superficies del equipo.

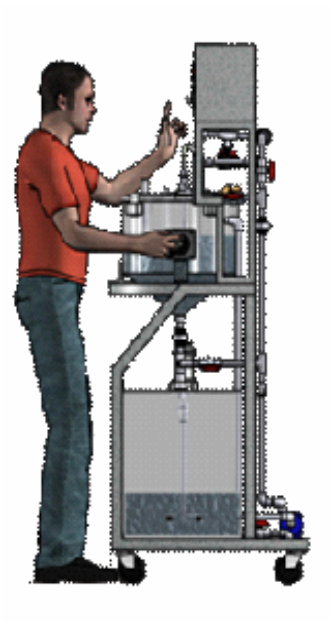


Figura 38

5. Energice el equipo, active la electrobomba y ponga en marcha, después de 5 minutos apague el equipo.

   - NOTA: Puede realizar esta operación programando el tiempo en el temporizador o con paro manual.

6. Repita la operación del numeral 2
7. Limpie y seque con un paño suave y seco los tanques y demás elementos; internamente y externamente.
8. Repita la operación del numeral 3
9. Deposite 30 litros de agua y repita la operación 5
10. Repita la operación del numeral 2
11. Repita operación 7

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Limpieza después de pruebas

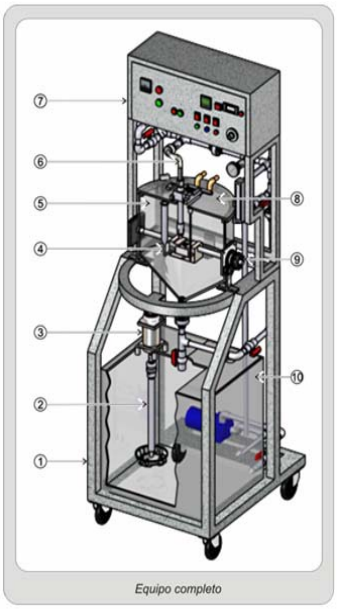


Figura 39

Caja de control

1. Apague el sistema antes de limpiarlo.
2. Para limpiarlo utilice un paño húmedo y suave. No utilice abrasivos.
3. Limpie la parte externa únicamente. La parte interna es de mayor cuidado y debe realizarse periódicamente (1 a 2 meses máximo según manual.)

Estructura

1. Para limpiarla utilice un paño húmedo y suave, no utilice abrasivos.
2. Limpie detalladamente la estructura.
3. Seque y de por terminado el mantenimiento diario.

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

El diseño e implementación de un plan de mantenimiento para el equipo se ve justificado por el hecho de asegurar la disminución de las detenciones en los ensayos por fallas técnicas, garantizando la más alta disponibilidad del equipo.

Debido a que aún no se cuenta con información sobre el historial de reparación o cambio de los componentes del equipo, se sugiere llevar a cabo las buenas prácticas de operación propuestas en el capítulo de operación y las indicaciones del fabricante de los diferentes elementos a demás diligenciar los formatos de historial de pruebas realizadas y de diagnostico de estado de la máquina con el fin de conocer el estado real y actual de la máquina en el momento de la inspección, además de servir como control e historial de las actividades operación, reparación y mantenimiento del equipo.

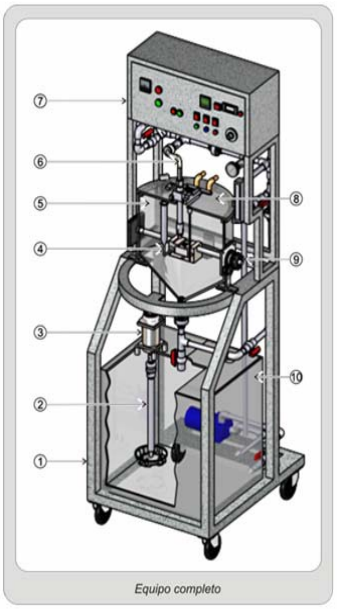


Figura 40

Bomba Centrífuga

FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRIFUGA	
Modelo	MDX-3 5/8
Tipo	U21 E20127
Flujo máximo	7.6 gpm
Cabeza máxima	19 Ft.
Entrada	5/8” OD
Salida	5/8” OD
Potencia	1/25 HP (108 W)
Revoluciones	3400 RPM
Voltaje	115 V
Frecuencia	50/60 hz
Amperaje	1.35 amp
Motor	AC
Materiales en contacto con la solución	Polipropylene, buna N y ceramic magnetic.
Presión máxima en la entrada	50 psi
Temperatura máxima del líquido	87 ºC
Peso	3 kg

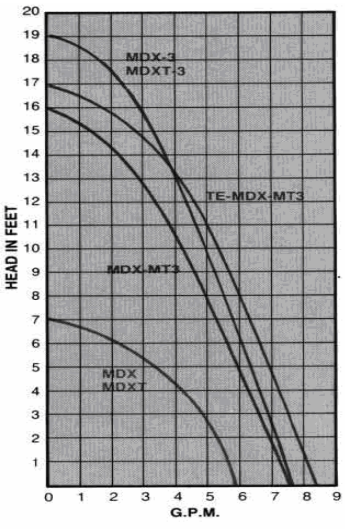


Figura 41

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

Con respecto a la condición de operación de la bomba se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los elementos son de cero mantenimientos.
- La garantía que opera es sobre manufactura no por fallas en operación.

Con base en ello se recomienda llevar a cabo las buenas prácticas de operación sugeridas; en caso de daño de algunos de los elementos que conforman la bomba pedirlos a March Pumps.

Figura 42

Mantenimiento del Motor de la Bomba

Se recomienda cada seis meses realizar el mantenimiento del motor, para lo cual se debe:

1. Verifica el estado de sus elementos constitutivos.

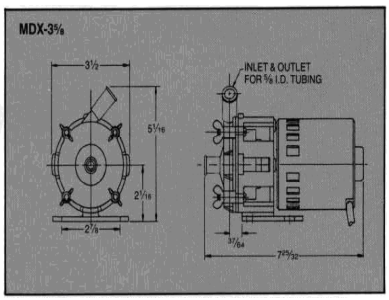


Figura 43

2. Realización de pruebas eléctricas al devanado del Estator:
   - La primera es la prueba de *Resistencia de Aislamiento a Tierra*, la cual se hace al doble del voltaje nominal de alimentación del motor.
   - La segunda prueba es la *Comparación de Impedancias entre Fases*, la cual se hace al doble del voltaje nominal de alimentación del motor.

   En caso tal que el motor tenga algún problema en su devanado debe rebobinarse nuevamente el estator de la máquina.

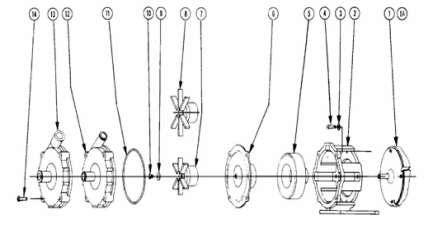


Figura 44

3. Se lava el devanado del Estator para retirar las partículas contaminantes como polvo, grasa, etc., esto se hace con un producto especial para uso eléctrico (*electro-clean*).

4. Se revisan los Rodamientos, los cuales no deben estar oxidados, golpeados o con ruido, en cualquiera de estos casos deben cambiarse. En caso tal de que su ciclo de trabajo se halla cumplido deben ser cambiados.

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

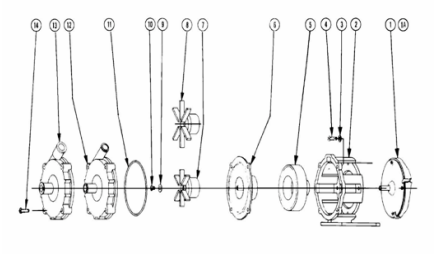


Figura 45

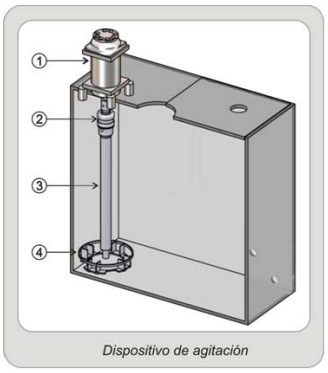
5. Se revisan los demás elementos que trae el motor tales como:
   a) Guardapolvo
   b) Bornera
   c) Acople o polea
   d) Caja de bornes
   e) Etc.

   En caso tal que estos accesorios estén en mal estado se cambian, sino, se les hace una limpieza general.
6. Se arma el motor.

Figura 46

REPAIR PARTS LIST				
USED IN	ITEM	DESCRIPTION	QTY.	PART NO.
MDX	1	Motor – 1750 RPM – 115 Volts – 50/60 Hz	1	0135-0109-1000
MDX-3	1A	Motor – 3500 RPM – 115 Volts – 50/60 Hz	1	0135-0036-1000
All	2	Motor Bracket	1	0135-0168-0100
All	3	# 8 Int. Lock Washer	4	0620-0010-1000
All	4	# 8-32 x ½ Lg. Round Head Screw	4	0618-0027-1000
All	5	Drive Magnet Assembly (Molded)	1	0135-0126-0100
MDX/MDX-3	6	Shaft Housing	1	0802-0043-1000
MDX-3	7	Impeller & Magnet Assembly (3.500 RPM)	1	0135-0043-0100
MDX	8	Impeller & Magnet Assembly (1.750 RPM)	1	0135-0026-0100
MDX-3	9	# 8 I.D. x 7/16 O.D. Flat Washer	1	0802-0057-1000
MDX-3	10	# 8-32 x ¼ Lg. Rd. Hd. Screw	1	0135-0042-1000
MDX/MDX-3	11	2-⅞ I.D. x 1/16 Thk, "O" Ring Buna	1	0135-0007-1000
MDX/MDX-3	12	Pump Housing ½" O.D. Inlet & Outlet	1	0135-0118-1000
MDX/MDX-3	13	Pump Housing ⅝" O.D. Inlet & Outlet	1	0135-0117-1000
All	14	Screws #10-32	4	0135-0180-1000

Contact factory for other materials and/or parts not listed.



Dispositivo de agitación

Figura 47

Agitador

En la parte superior del tanque se encuentra dispuesto el *dispositivo de agitación* conformado por un motor-reductor Modelo E-600-4 (1) de alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor, funciona a 110 V, 255 mA , gira a 900 r.p.m y en su punta consta de un mandril (2) para acoplar el elemento de agitación (4). El elemento dispuesto para agitar la solución esta fabricado en Duralon Nylon consta de un eje al que se fija un aspa que remueve la solución a 180 r.p.m.

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

Mantenimiento del Motorreductor.

Se recomienda cada seis meses realizar el mantenimiento del motorreductor, para lo cual se debe:

Figura 48

1. Verifica el estado de sus elementos constitutivos.
2. Realización de pruebas eléctricas al devanado del Estator:
    - La primera es la prueba de *Resistencia de Aislamiento a Tierra*, la cual se hace al doble del voltaje nominal de alimentación del motor.
    - La segunda prueba es la *Comparación de Impedancias entre Fases*, la cual se hace al doble del voltaje nominal de alimentación del motor.

    En caso tal que el motor tenga algún problema en su devanado debe rebobinarse nuevamente el estator de la máquina.
3. Se lava el devanado del Estator para retirar las partículas contaminantes como polvo, grasa, etc., esto se hace con un producto especial para uso eléctrico (*electro-clean*).
4. Se revisan los Rodamientos, los cuales no deben estar oxidados, golpeados o con ruido, en cualquiera de estos casos deben cambiarse. En caso tal de que su ciclo de trabajo se halla cumplido deben ser cambiados.
5. Se revisan los demás elementos adheridos al motorreductor y que hacen parte del dispositivo de agitación.
    a) Mandril.
    b) Elemento de agitación.
    c) Etc.

    En caso tal que estos accesorios estén en mal estado se cambian, sino, se les hace una limpieza.
6. Se arma el dispositivo y se monta en el equipo.

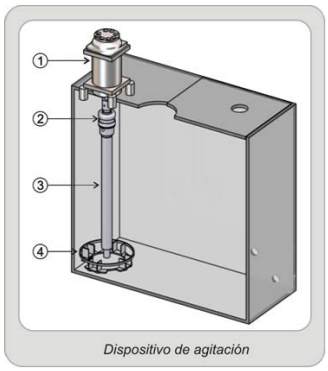


Figura 49

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

Rotametro

Figura 50

FICHA TÉCNICA DEL ROTÁMETRO	
Marca	King
Tipo	7520
Capacidad	5 gpm
Materiales de construcción	S-316L, acrílico y pvc
Temperatura máxima	54 ºC
Presión máxima	125 psi
Peso	130 g

Se recomienda limpiar después de terminada cada prueba evitando de esta manera la acumulación de partículas de sal en su superficie ver limpieza de equipo después de prueba.

Celda de carga.

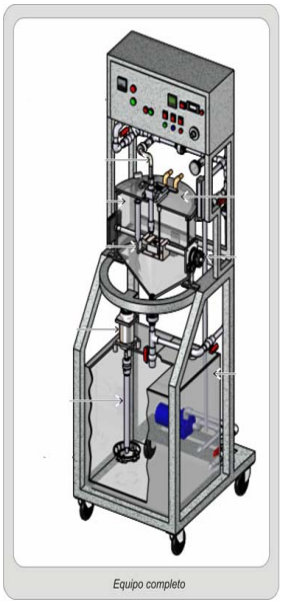


Figura 51

Cabe recordar que después de cierto tiempo, debido a la composición química del fluido utilizado para llevar acabo las pruebas se desgastan los empaques que impiden la fuga de los fluidos, por lo tanto se hace necesario cambiar los sellos y O-Ring cada 3 meses.

Tanque de almacenamiento

Revisar las conexiones de tubería acopladas al tanque y sellar correctamente con teflón y silicona para evitar las fugas.

Válvulas.

Cabe recordar que después de cierto tiempo las válvulas puedes llegar a obstruirse evitando un cierre o apertura total. Se recomienda cambio de la válvula o válvula averiadas.

Boquillas

Limpie el orificio de salida de tal manera que garantice un chorro solidó y cabe recordar que después de cierto tiempo las boquillas pueden deteriorarse. Se recomienda cambio de boquilla referencia S.S.Co. H1/2U 316SS 00150 Spraying System de Colombia.

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

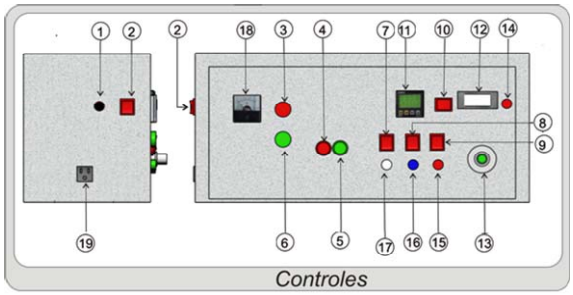
Arrancador

Transformador 110-220

Dimmer OPTEC y Pantalla LCD

Temporizador.

Tablero de control y componentes internos.



Controles

1. Apague y desconecte el sistema antes de limpiarlo.

2. La toma de energía debe estar desconectada antes de limpiar la unidad interior.

3. Baje la tapa frontal y con una brocha pequeña de cerdas suaves retire el polvo, esto debe realizarse cada 3 meses o cuando lo requiera el equipo.

.

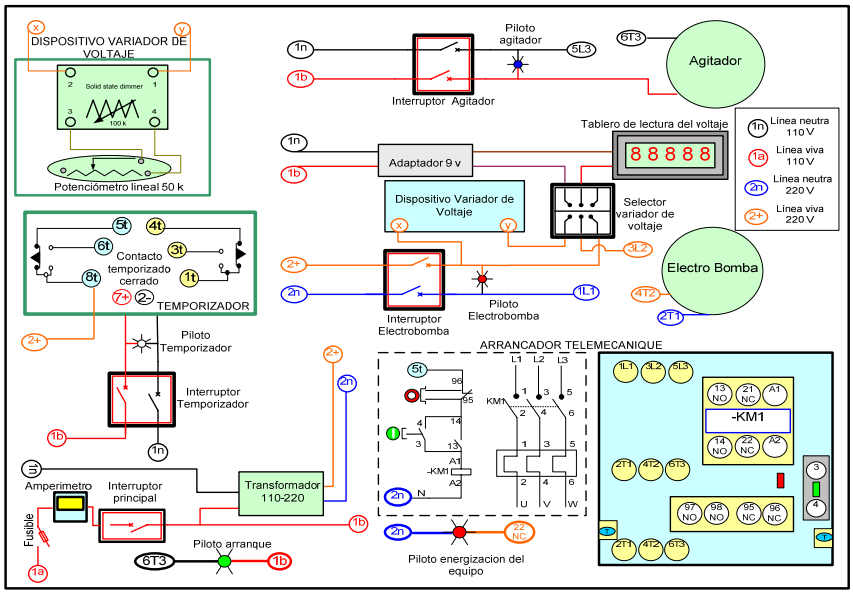
Lista de partes externas del tablero de control.			
Nº	**Nombre**	**Nº**	**Nombre**
1	Fusible	11	Temporizador
2	Interruptor Principal	12	Panel LCD Variador de voltaje
3	Indicador Energización del Circuito	13	Potenciómetro Dimmer ajuste de Voltaje.
4	Botón Paro de Emergencia	14	Indicador del variador de voltaje
5	Botón de Arranque	15	Indicador de activación de la bomba
6	Indicador puesta en marcha del Sistema	16	Indicador de activación del agitador
7	Interruptor Temporizador	17	Indicador de activación del temporizador
8	Interruptor Agitador	18	Amperímetro
9	Interruptor Bomba	19	Fuente equipo 110 V
10	Selector de control de velocidad de flujo		

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

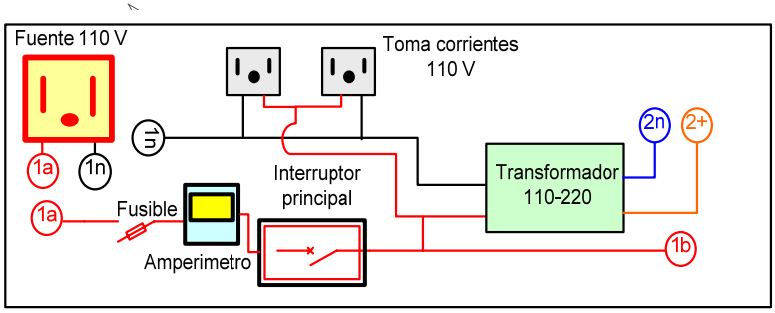
4. Al desmontar y montar algún elemento del tablero de control tenga en cuenta las instrucciones, esquemas eléctricos del este manual y recomendaciones del fabricante.

- Guía para la conexión general de los elementos de la caja de control.



- Alimenticio de la caja de control
  - El transformador eleva la tensión de 110 a 220 voltios, opera 50HZ-60HZ y 200W máx., lo que garantiza la alimentación correcta de la electrobomba.

Figura 52

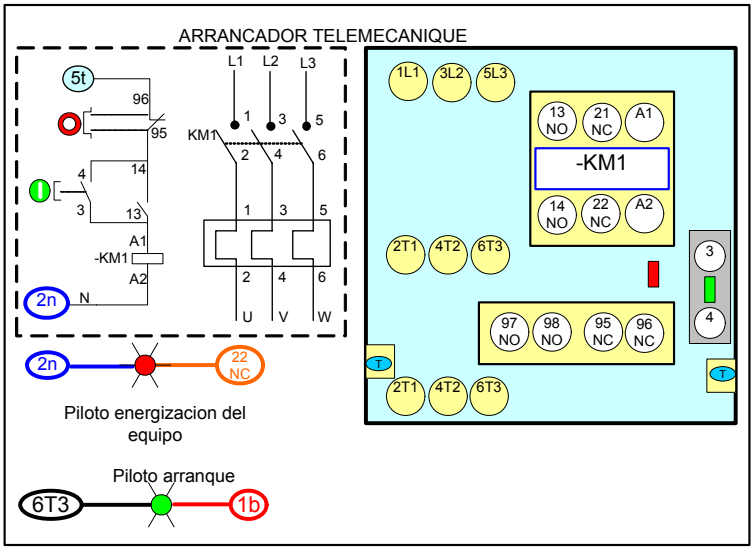


LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

- **Arrancador**
  - **Arrancador Telemecanique LE1D09M7** directo sin rele térmico, con una corriente máxima de 9 amp, contactor con bobina

Figura 53



FICHA TÉCNICA DEL ARRANCADOR	
Modelo	Telemecanique
Tipo	LE1D09M7
Voltaje	220 V
Frecuencia	50/60 hz
Amperaje	9 amp
Peso	130 g

Figura 54

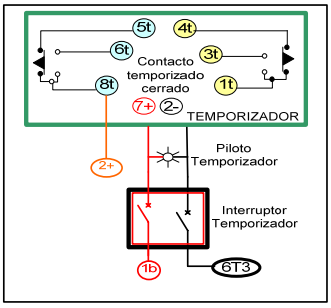
- **Temporizador**
  - **Temporizador DIGITAL 8 PINES MARCA AUTONICS LE4SA** con un común y dos contactos (NC+NA). El cual permite un control del tiempo de prueba desde 0.01 seg.- 9.999 horas, 4 dígitos Ldc *back Light*, alimentación de 220 Voltios. Incluye base soporte para puerta. Mayor información ver catalogo

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

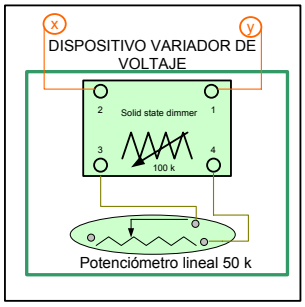
Mantenimiento Periódico del equipo

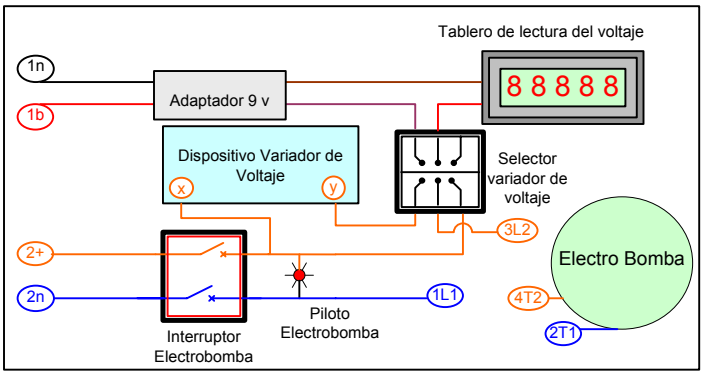
Figura 55

Figura 56

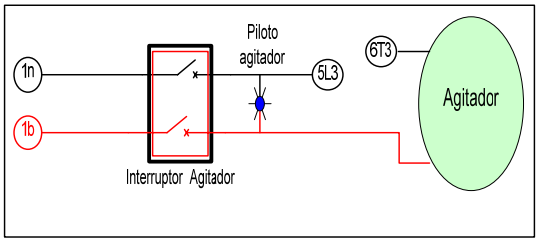


- **Control de la electrobomba.**
  - Control de velocidad: Equivale a un variador de voltaje, lo forma un dispositivo de elementos electrónico como es un Dimmer Optec, el cual interactúa con un potenciómetro lineal de 50 K de 10 vueltas; equipado con una perilla que permite variar los datos nominales de tensión del motor, además esta compuesto de un adaptador 9v 800mA 110V NIMWA, un panel LCD 4 dígito que facilita la lectura de la tensión.





- **Control del Agitador**



LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

Formato para llevar el historial de pruebas

NOMBRE	CÓDIGO	FECHA	HORA INICIO	HORA FIN

LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Mantenimiento Periódico del equipo

DIAGNOSTICO DE ESTADO DE LA MÁQUINA			
FECHA:	**DÍA:**	**MES:**	**AÑO:**
NOMBRE DEL OPERARIO:			

№	**NOMBRE DE LA PARTE**	**DIAGNOSTICO**	**SOLUCIÓN**

№	**OPERACIONES DE REPARACIÓN O MANTENIMIENTO**	**FECHA : INICIO/ FIN**

ANEXO I. MANUAL SCAP363

Sistema de Control y Adquisición de Datos para el P363
SCAP363

Manual de Usuario

INTRODUCCIÓN

El SCAP363 es un equipo diseñado para el control del potenciostato-galvanostato Princeton 363[22] (P363), así como la adquisición de los datos generados por este equipo. Es de vital importancia conocer el funcionamiento del P363 pues durante este manual se hace constante mención de este equipo.

El SCAP363 permite ejecutar varios tipos de pruebas electroquímicas para el análisis de los fenómenos de corrosión. Entre las pruebas se destacan la Tafel Anódica, Tafel Catódica, Tafel Completa, R_P y Polarización Anódica Potenciodinámica.

El sistema cuenta con una interfaz de comunicación USB que permite transmitir los datos obtenidos en las pruebas hacia un PC, lo cual posibilita realizar gráficas de los resultados para llevar a cabo el calculo de los parámetros requeridos y el análisis de los mismos.

En el presente manual se describe la forma de operación del sistema, así como recomendaciones para un manejo adecuado. Para mayor información remitirse a la tesis de grado: ***Repotenciación y actualización de un Potenciostato-Galvanostato Princeton 363 para el Laboratorio de Corrosión de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales;*** realizado por Sergio Andrés Zabala Vargas y Diego Fernando Monroy Jácome.

[22] Ver manual de usuario del potenciostato-galvanostato fabricado por EG&G Instruments.

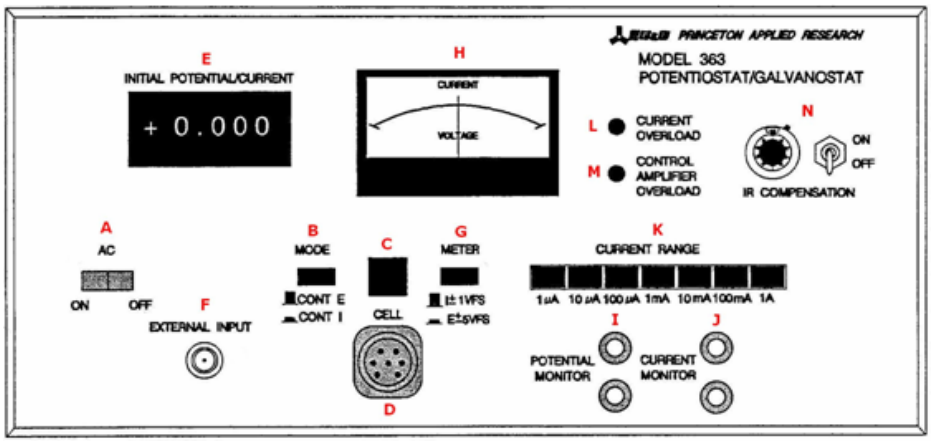
1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL P363

El potenciostato-galvanostato Princeton Modelo 363 es un equipo con un excelente desempeño para la ejecución de las pruebas electroquímicas en las cuales se requiere el control del potencial o la corriente aplicada en una celda[23].

1.1 Panel frontal del P363

El P363 cuenta en su panel frontal con varios elementos que permiten al usuario, entre otras cosas, configurar el modo de operación del equipo, seleccionar el rango de corriente, visualizar las mediciones realizadas, etc.

Figura 1. Panel Frontal del Potenciostato



Haciendo referencia a la Figura A1, cada uno de los elementos que componen el panel frontal del P363 se describen a continuación:

a. **Interruptor On/Off**: Permite controlar la alimentación del sistema con el fin encender y apagar el P363.

[23] Tomado de el manual de usuario del P363.

b. **Modo**: Este permite seleccionar la operación del P363 entre modo potenciostato y modo galvanostato. En modo potenciostato (**Control E**) el sistema tiene un rango de control desde -9.999V hasta +9.999V que puede ser suministrado por un generador externo o por el mismo P363. A su vez en el modo galvanostato (**Control I**) la corriente suministrada a la celda esta dada por el producto entre los valores señalados en los indicadores **Rango De Corriente** y **Potencial/Corriente Inicial**.

c. **Celda**: Este interruptor controla el paso de señal hacia la celda electroquímica.

d. **Conector de la Celda:** Este elemento permite conectar el P363 con la celda electroquímica por medio de un Cable de Celda el cual cuenta en el otro extremo con cuatro terminales identificados por medio de un código de colores como se muestra a continuación:

- Terminal Rojo: Se conecta al contra-electrodo de la celda.
- Terminal Verde: Se conecta al electrodo de trabajo de la celda.
- Terminal Blanco: Se conecta al electrodo de referencia de la celda.
- Terminal Negro: Disponible como una fuente de tierra de potencial.
  No es requerido conectarlo para ninguno de los modos de operación.

e. **Potencial/Corriente Inicial:** En este indicador se puede ajustar un valor de potencial o de corriente que será suministrado a la celda. Esta señal se suma algebraicamente a la señal de la **Entrada Externa** y típicamente se ajusta al potencial de corrosión (E_{oc}).

f. **Entrada Externa:** Esta entrada permite aplicar una señal de control externa la cual, al ser adicionada con la señal del literal e., es suministrada a la celda para la ejecución de las pruebas.

g. **Interruptor del Medidor:** Este permite seleccionar la señal, ya sea de voltaje o corriente de la celda, para ser mostrada en el **Medidor de Aguja.** Si se selecciona voltaje (E) la deflexión a fondo escala tiene un valor de ±5V, mientras que en el caso de la corriente (I) la deflexión corresponde a un valor igual al seleccionado en el **Rango de Corriente**.

h. **Medidor de Aguja:** Este permite visualizar las señales descritas en el literal anterior. En el modo (E) indica el voltaje entre el electrodo de trabajo y el de referencias mientras que en el modo (I) muestra la corriente que pasa por el electrodo de trabajo.

i. **Monitor de Potencial:** Consta de dos borneras donde se puede medir el potencial entre el electrodo de referencia con respecto al electrodo de trabajo. El rango del potencial de salida es de ±9.999V.

j. **Monitor de Corriente:** En ambos modos, el potencial provisto por la salida varía directamente con la corriente. La polaridad es la misma que la mostrada por el **Medidor de Aguja** y una medida a fondo de escala en el **Rango de Corriente** corresponde a 1 V.

k. **Rango de Corriente:** Este conjunto de siete botones establece el rango de corriente en ambos modos; sin embargo su significado difiere de un modo al otro.

   Para el modo **Control E,** éstos dan al operador la capacidad de hacer mediciones de corriente con mayor precisión que se extiende desde un fondo de escala de 1 μA hasta un fondo de escala de 1 A. Para más precisión se debe seleccionar el rango de corriente que provee la indicación mayor.

De forma similar, en el modo **Control I**, estos botones tienen dos funciones. La primera consiste en determinar la magnitud de la corriente controlada multiplicando el valor de la escala señalada con el valor indicado por **Potencial/Corriente Inicial.** La segunda consiste en determinar la sensibilidad de medida de forma similar descrita para el modo anterior.

l. **Sobrecarga de Corriente:** Este indicador se activa cuando la corriente del electrodo de trabajo es más grande que dos veces el valor seleccionado en el **Rango de Corriente.** Cuando esta advertencia se activa es necesario aumentar el valor de la escala del rango de corriente para poder continuar con la prueba. Es importante aclarar que esto es válido para todas las escalas excepto para la de 1 A pues este es el valor límite que soporta el P363.

m. **Sobrecarga del Amplificador de Control:** Cuando este indicador se activa indica que el lazo esta fuera de control, es decir que el potencial del electrodo de trabajo con respecto al electrodo de referencia no es el programado. Esto se puede deber a una conexión errónea, un problema en el electrodo o a una resistencia del electrolito demasiado alta. Otra circunstancia en la cual este se activa es cuando la corriente por el electrodo de trabajo supera 1 A.

n. **Compensación IR:** Estos controles son usados en el modo **Control E** para aplicar realimentación positiva al amplificador de control. La señal de realimentación es un voltaje producido por una corriente **I** en la resistencia entre el electrodo de trabajo y el de referencia **R**. El lazo de control del instrumento compensa automáticamente para la celda el valor de la resistencia entre el contra-electrodo y el electrodo de referencia.

Es muy importante destacar que el P363 recibe señales de voltaje de entrada de ±10 V. Para el caso de las pruebas electroquímicas implementadas en el

SCAP363 se maneja un rango de ±2.5 V, lo que permite aumentar la resolución en la adquisición de los datos.

El SCAP363 se ha diseñado para tener una operación “paralela” a la existente en el P363. De esta forma se mantiene la posibilidad de utilizar el potenciostato en otro tipo de pruebas que no se encuentren implementadas en el SCAP363.

Para mayor información sobre el P363 el usuario debe remitirse al manual del equipo suministrado por EG&G Instruments.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SCAP363

En esta sección se presentan las principales especificaciones eléctricas del SCAP363, así como los elementos adicionales con los que cuenta el sistema.

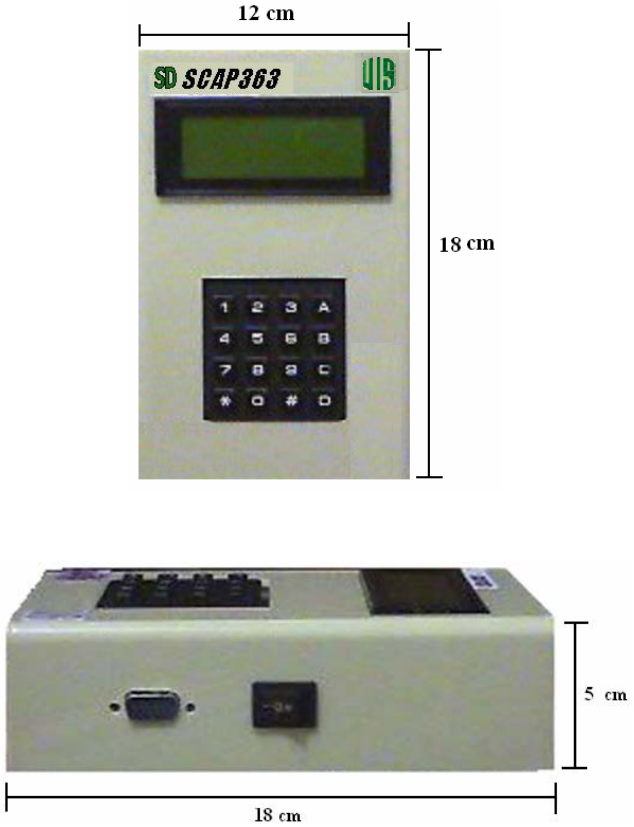
Tabla 1. Principales características eléctricas

PARÁMETRO	MIN	MAX	UNID.	CONDICIONES
Rango de voltaje generado	-2.5	2.5	V	Aplicado en la entrada del P363.
Rango de corriente generado	-1	1	A	Generando un voltaje proporcional de ± 1V.
Voltaje de alimentación	4.9	5.1	V	-
Corriente de entrada	43.98	54.48	mA	-
Voltaje de referencia	2.498	2.502	V	Regulador de band-gap del SCAP363.
Capacidad de memoria por prueba	-	16374	Datos	Valor de voltaje o corriente según modo de operación.
Máxima tasa de transmisión (USB)	-	125000	Bauds	

Tabla 2. Pruebas configuradas en el SCAP363

PRUEBAS	PARAMETROS DE ENTRADA	RANGO DE VOLTAJE [mV]
Tafel Catódica	Velocidad [mV/s]	$E_{OC} \rightarrow E_{OC}$-250
Tafel Anódica	Velocidad [mV/s]	$E_{OC} \rightarrow E_{OC}$+250
Tafel Completa	Velocidad [mV/s]	E_{OC}-250 $\rightarrow E_{OC}$+250
Rp	-	E_{OC}-20 $\rightarrow E_{OC}$+20
Polarización Anódica Potenciodinámica	Velocidad [mV/s] Voltaje final [V]	$E_{OC} \rightarrow E_{FINAL}$

Figura 2. Medidas y peso



Peso aproximado: 350 g

3. INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO DEL SCAP363

3.1 ENCENDIENDO EL SCAP363

En esta sección, se describe de forma sencilla el modo de operación y uso del SCAP363. Para familiarizarse con el dispositivo en si y el software implementado se presentan una serie de figuras que ilustran los procesos que se desarrollan dentro de la interfaz propuesta.

En las Figuras 3 y 4, se presenta un esquema del SCAP363 donde se pueden identificar claramente los elementos externos con los que este equipo cuenta. Inicialmente es necesario advertir que los el sistema presenta una serie de menús sencillos para la selección y almacenamiento de las pruebas, los cuales son visualizados en la ***Pantalla LCD*** y manipulados utilizando el ***Teclado.***

Figura 3. Vista frontal del SCAP363

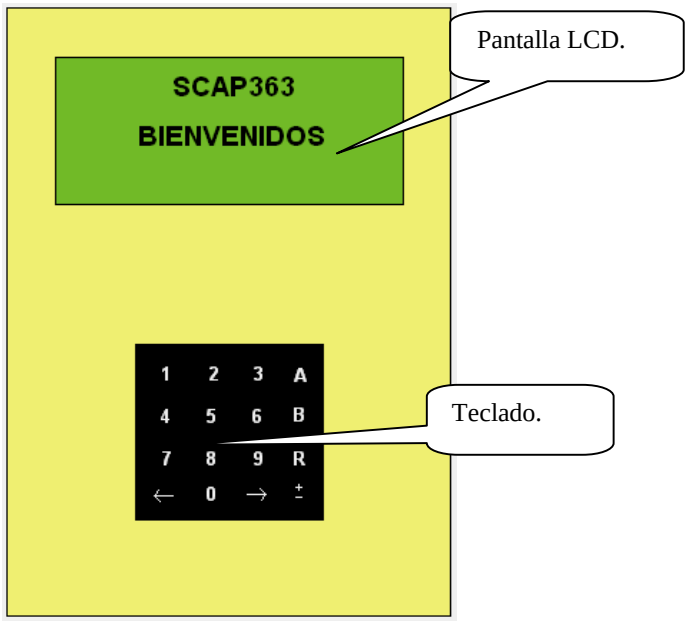
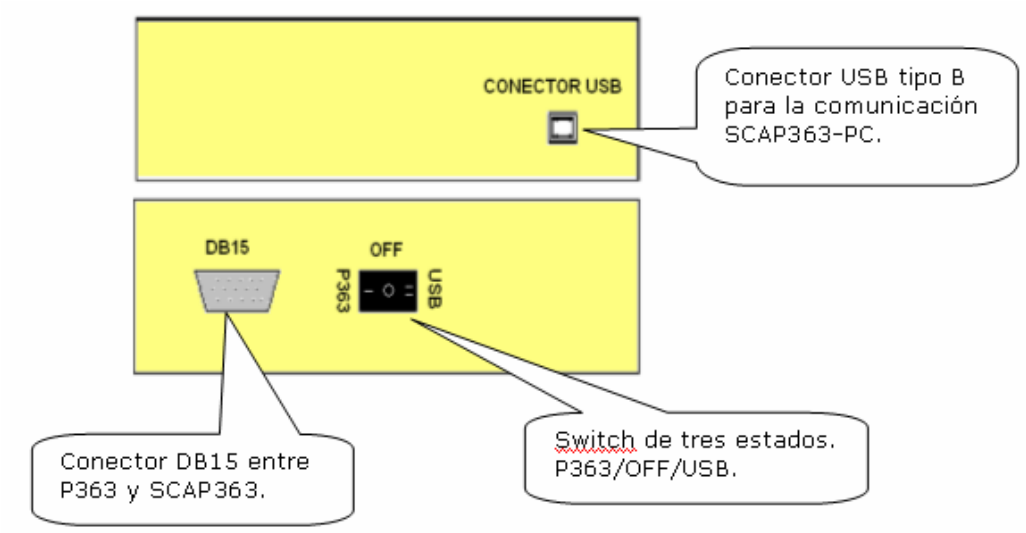
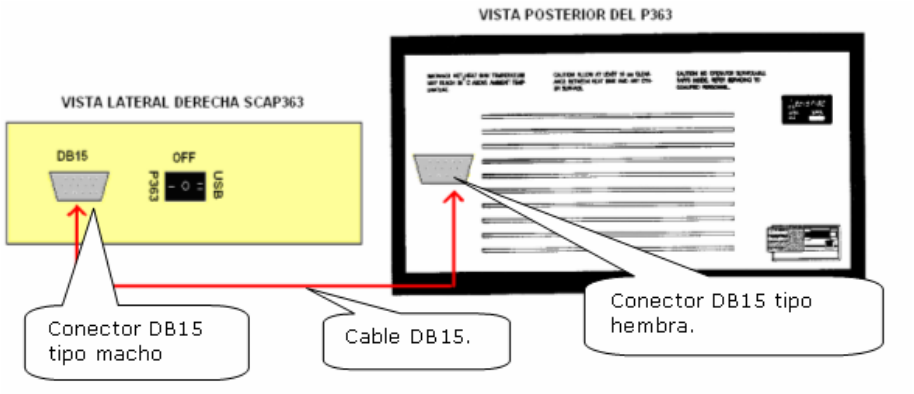


Figura 4. Vistas laterales frontal del SCAP363



El primer paso consiste en elegir si se desea ***ejecutar prueba*** o ***descargar datos a PC.*** Para la primera opción es necesario conectar el SCAP363 al P363 utilizando el cable con el conector DB15 (incluido). Ver Figura 5.

Figura 5. Conexión SCAP363-P363

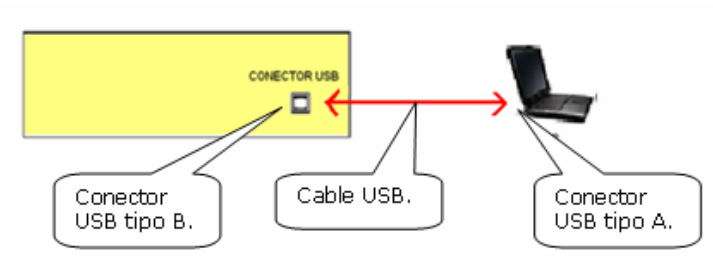


Para encender el equipo, es necesario activar el ***switch de tres estados*** hacia la posición ***P363.***

NOTA: Es necesario encender primero el P363 y luego el SCAP363.

Para la opción de ***descargar prueba,*** se debe conectar el SCAP363 al PC por medio del cable USB (incluido). En este caso el SCAP363 recibe la alimentación del PC.

Figura 6. Conexión SCAP363-PC



Ahora, para encender el equipo, es necesario activar el ***switch de tres estados***, pero en este caso se debe llevar a la posición ***USB.***

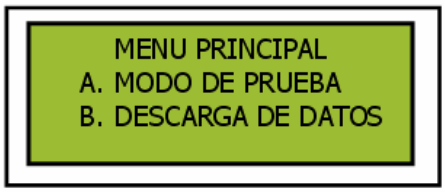
3.2 TRABAJANDO CON EL SCAP363

Después de encender el equipo, se presenta una pantalla de bienvenida al usuario con la presentación del equipo. Ver Figura 7.

Figura 7. Pantalla de bienvenida

A continuación, se muestra el menú principal donde se puede seleccionar entre alguna de las opciones mostradas en la Figura 8, las cuales se serán explicadas en breve.

Figura 8. Menú principal



A. MODO DE PRUEBA: Permite ingresar a los menús donde se ejecutarán las pruebas electroquímicas.

B. DESCARGA DE DATOS: Esta opción permite transmitir los datos desde el P363 hacia el computador.

Acto seguido se describen cada una de las opciones anteriores:

- **MODO DE PRUEBA.** Se presenta a continuación una pantalla para escoger la memoria en la cual se va a almacenar los resultados. Ver Figuras 9 y 10.

Figura 9. Menú para la selección de memoria

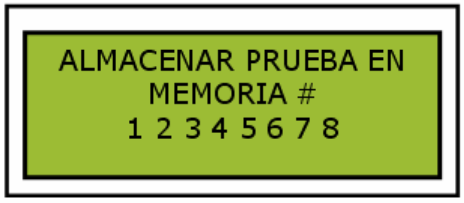
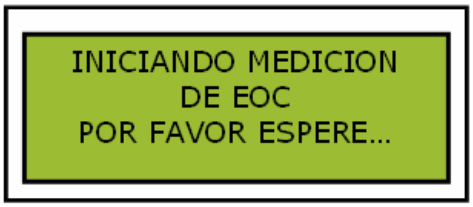


Figura 10. Presentación de la memoria elegida

Después que el usuario seleccione la memoria, el sistema inicia la medición del potencial de corrosión E_{OC}.

Figura 11. Advertencia de inicio de medición de E_{OC}



Las Figuras 12 y 13 presentan la medición del E_{OC} utilizando dos criterios de parada: el primero de estos consisten en un algoritmo de "estabilidad relativa"[24], el cual determina cuando las variaciones de dicho potencial son menores a 0.1 mV; el segundo criterio de parada ocurre cuando el usuario oprime una teclado.

Figura 12. Medición de E_{OC}

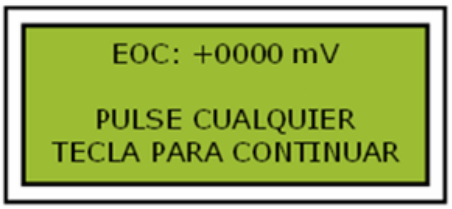
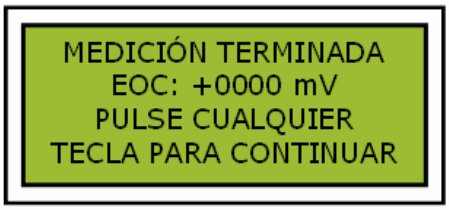


Figura 13. Medición de E_{OC} terminada



[24] Ver ZABALA S. y MONROY D. *Repotenciación y actualización de un Potenciostato-Galvanostato Princeton 363 para el Laboratorio de Corrosión de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales*. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, 2005.

En la Figura 12 el valor esta constantemente variando, lo que indica que se esta llevando a cabo la medición. A su vez, en la Figura 13 el valor aparece estático lo que indica que es el valor definitivo.

En las Figuras 15 y 16 se presentan dos pantallas con las pruebas electroquímicas. Para avanzar entre páginas se utilizan las teclas ← y →.

Figura 15. Pruebas electroquímicas I

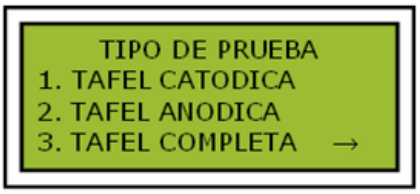
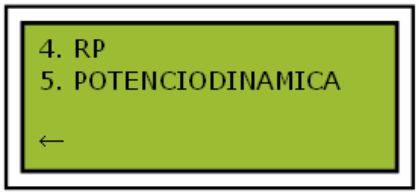


Figura 16. Pruebas electroquímicas II



En la Figura 17 se muestra la siguiente pantalla, en la cual se presenta el valor del EOC medido, así como los parámetros de entrada para la prueba.

Para las primeras cuatro pruebas se solicita al usuario el ingreso de la velocidad de la rampa de voltaje [mV/s], para la ***curva potenciodinámica*** se requiere también el valor del potencial final E_{FINAL}.

Figura 17. Parámetros de entrada I

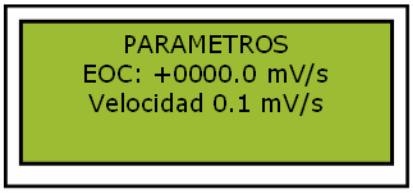
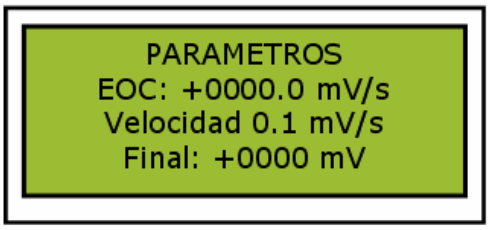
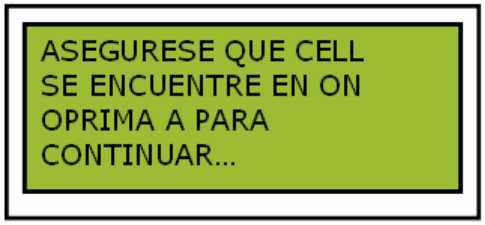


Figura 18. Parámetros de entrada II



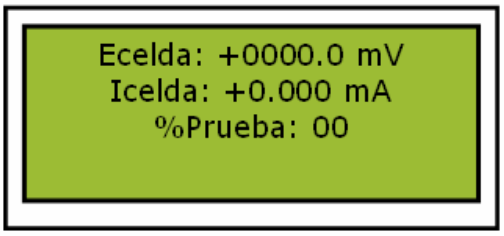
En este paso se presenta una advertencia para que el usuario active la tecla Cell **ON** del potenciostato. Luego debe presionar la tecla A.

Figura 19. Advertencia para iniciar la prueba



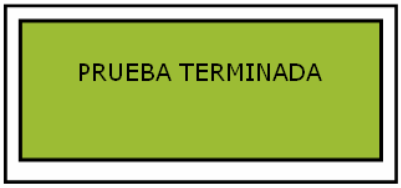
El siguiente paso es la ejecución de la prueba, en la cual se presenta el voltaje y la corriente de la celda. En esta pantalla se presenta también el porcentaje que ha transcurrido la prueba.

Figura 20. Presentación mientras se ejecuta la prueba



Nota: Es importante destacar que a medida que se ejecuta la prueba, esta se va almacenando en la memoria elegida por el usuario.

Figura 21. Finalización de la prueba



En este punto, el sistema reinicia y queda a la espera de la ejecución de una nueva prueba.

Nota: Es necesario oprimir la tecla CELL para reiniciar la prueba.

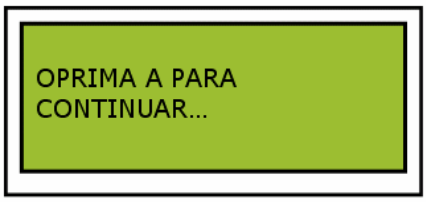
MODO DE DESCARGA DE DATOS. Para escoger esta opción es necesario conectar el SCAP363 al PC.

Primero se presenta una pantalla en la cual se solicita al usuario la selección de la memoria para descargar la prueba. Ver Figura 22.

Figura 22. Selección de la memoria a descargar

Posteriormente se presenta la pantalla mostrada en la Figura 23, la cual espera que el usuario oprima una tecla para iniciar la descarga.

Figura 23. Inicio de descarga

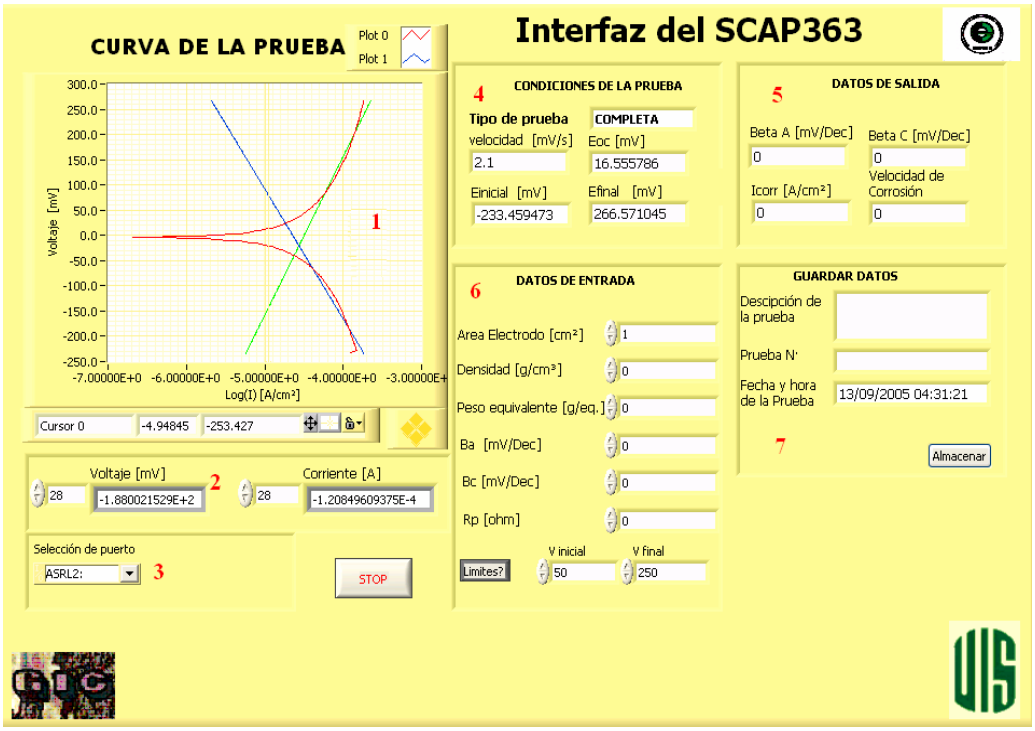


Nota: En la siguiente sección se presenta el proceso que se debe llevar a cabo para la visualización y análisis de los datos en el programa en LABView.

3.3 INTERFAZ GRÁFICA DE LABView

En la Figura 24 se muestra el panel frontal de la interfaz. Basados en este esquema se realiza la descripción del programa.

Figura 24. Panel frontal de la interfaz del SCAP363



1. **Curva de la prueba:** En esta sección del programa se muestra la gráfica de la prueba realizada en color rojo. Además las líneas verde y azul son las pendientes de la curva anódica y catódica respectivamente.

2. **Datos de la prueba:** Aquí se presentan los datos de voltaje y corriente tomados en la prueba. El usuario puede utilizar el botón para

desplazarse en todos los valores obtenidos o digitarlos dentro del cuadro de texto. El valor de voltaje esta dado en mV y el valor de corriente en A.

3. **Selección de puerto:** El usuario debe seleccionar el puerto desde el cual se va a descargar la información. En este punto se selecciona el valor denominado **ASRLX,** donde X es variable y depende del puerto USB donde se conecte el equipo.

4. **Condiciones de la prueba:** En esta parte de la interfaz se presenta información relacionada con la prueba, como el tipo de prueba, la velocidad de escaneo, el E_{OC}, el $E_{INICIAL}$ y E_{FINAL}.

5. **Datos de salida:** Se calculan los valores de β_A y β_C, además de I_{CORR} y la velocidad de Corrosión; La resistencia de polarización se calcula solo para pruebas RP. Estos datos se calculan con los valores ingresados por el usuario en los datos de entrada más los valores de β_A y β_C calculados de las curvas, según la prueba. Si los datos requeridos para calcular I_{CORR} no son suficientes, entonces esta se calcula directamente de la gráfica.

6. **Datos de entrada:** Permiten al usuario ingresar los datos necesarios para calcular los parámetros del numeral 5. En caso que la prueba calcule dichos datos, estos aparecen sombreados e inhabilitados para ser modificados.

7. **Guardar datos:** En esta parte se ingresan la información necesaria para el almacenamiento de la prueba. La información por defecto queda registrada en un archivo ***.dat**

3.4 VISUALIZANDO LOS DATOS CON EL SCAP363

En esta sección se presentan los pasos para la visualización de los datos, además de las recomendaciones necesarias para este fin.

1. **Instalación de los drivers del SCAP363:** Para esto basta con ***conectar el equipo al PC*** y seguir las indicaciones de la instalación de ***nuevo hardware***

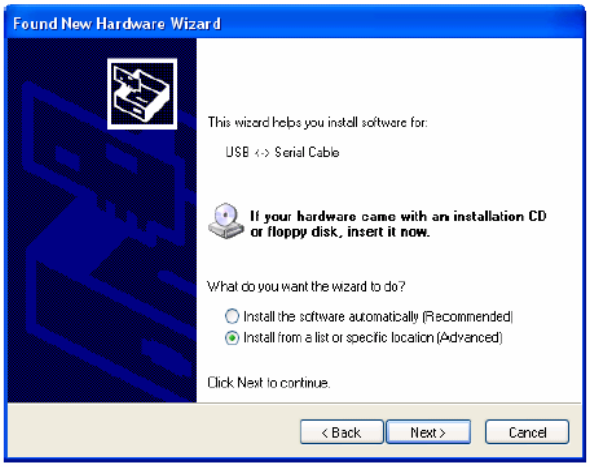
de Windows™ XP. La figuras 25, 26 y 27 muestran las opciones que el usuario debe seleccionar, además es importante destacar que los drivers son proporcionados en el CD de instalación del equipo o pueden ser descargados gratuitamente de la página Web www.ftdi.com.

Figura 25. Selección de instalación de nuevo hardware.

Found New Hardware Wizard
Welcome to the Found New Hardware Wizard
Windows will search for current and updated software by looking on your computer, on the hardware installation CD, or on the Windows Update Web site (with your permission).
Read our privacy policy
Can Windows connect to Windows Update to search for software?
Yes, this time only
Yes, now and every time I connect a device
No, not this time
Click Next to continue.
< Back
Next >
Cancel

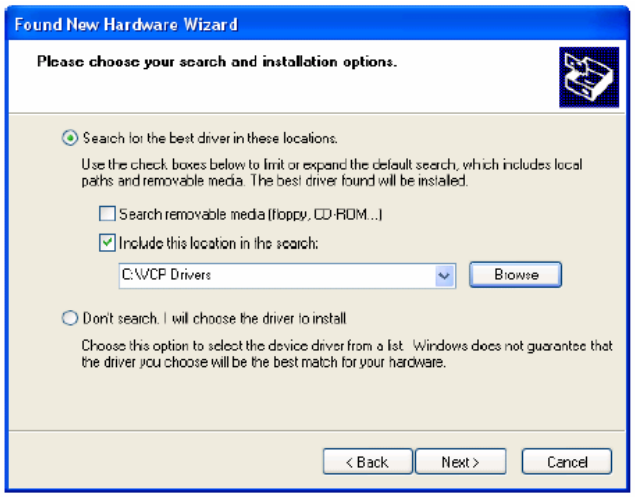
Se debe elegir la opción ***no, no esta vez.***

Figura 26. Selección de la localización del driver.


Found New Hardware Wizard
This wizard helps you install software for:
USB <-> Serial Cable
If your hardware came with an installation CD or floppy disk, insert it now.
What do you want the wizard to do?
Install the software automatically (Recommended)
Install from a list or specific location (Advanced)
Click Next to continue.
< Back
Next >
Cancel

Se debe elegir la opción ***instalar desde una lista específica***

Figura 27. Indicación de la ruta donde se encuentra el driver.


Found New Hardware Wizard
Please choose your search and installation options.
Search for the best driver in these locations.
Use the check boxes below to limit or expand the default search, which includes local paths and removable media. The best driver found will be installed.
Search removable media (floppy, CD-ROM...)
Include this location in the search:
C:\VCP Drivers
Browse
Don't search. I will choose the driver to install
Choose this option to select the device driver from a list. Windows does not guarantee that the driver you choose will be the best match for your hardware.
< Back
Next >
Cancel

En este caso se selecciona la ubicación de los drivers que se encuentran en la carpeta ***drivers VCP*** del CD de instalación.

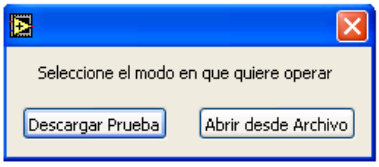
Finalmente, Windows™ indica que la instalación es correcta. Ahora, cada vez que se conecte el dispositivo al equipo será detectado automáticamente.

2. Ejecución de la INTERFAZ CON EL SCAP363

Nota: Es necesario conectar y encender el SCAP363 antes de iniciar la aplicación de LABView pues dicho programa no detecta los puertos configurados después del inicio.

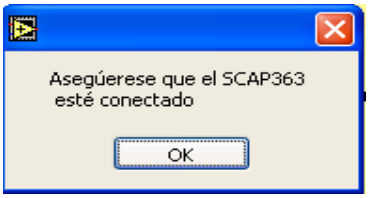
Inicialmente se debe ejecutar el programa denominado **SCAP363.exe** el cual presenta la interfaz descrita en la Figura 24. Luego se muestra el cuadro de dialogo mostrado en la Figura 28.

Figura 28. Selección de prueba



En caso de seleccionar **Descargar Prueba** el sistema advierte al usuario que el SCAP363 debe estar conectado al equipo para funcionar, tal y como aparece en la figura 29. El software descarga los datos desde el SCAP363 vía USB desde la memoria que se haya seleccionado en el SCAP363 después de haber realizado el procedimiento indicado para el modo DESCARGA DE DATOS del SCAP363.

Figura 29. Advertencia de conexión.

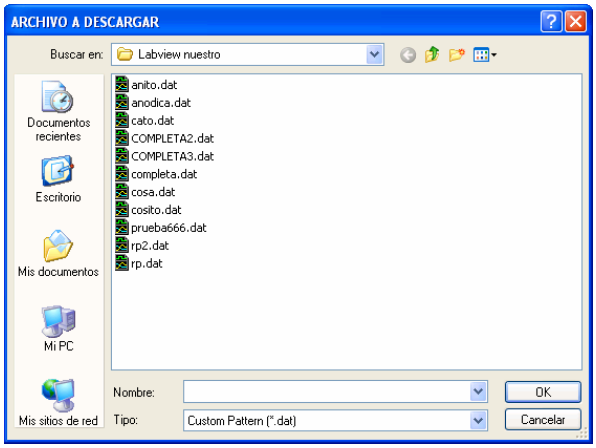


Cuando se termina la descarga de los datos, el software actualiza los datos de la prueba, al mismo tiempo que realiza la gráfica

Nota: Para evitar errores en la transmisión de datos se recomienda al usuario iniciar descarga en el computador antes de indicar la descarga de datos en el SCAP363. En caso que los datos transmitidos no sean correctos, vuelva a realizar el mismo procedimiento indicado.

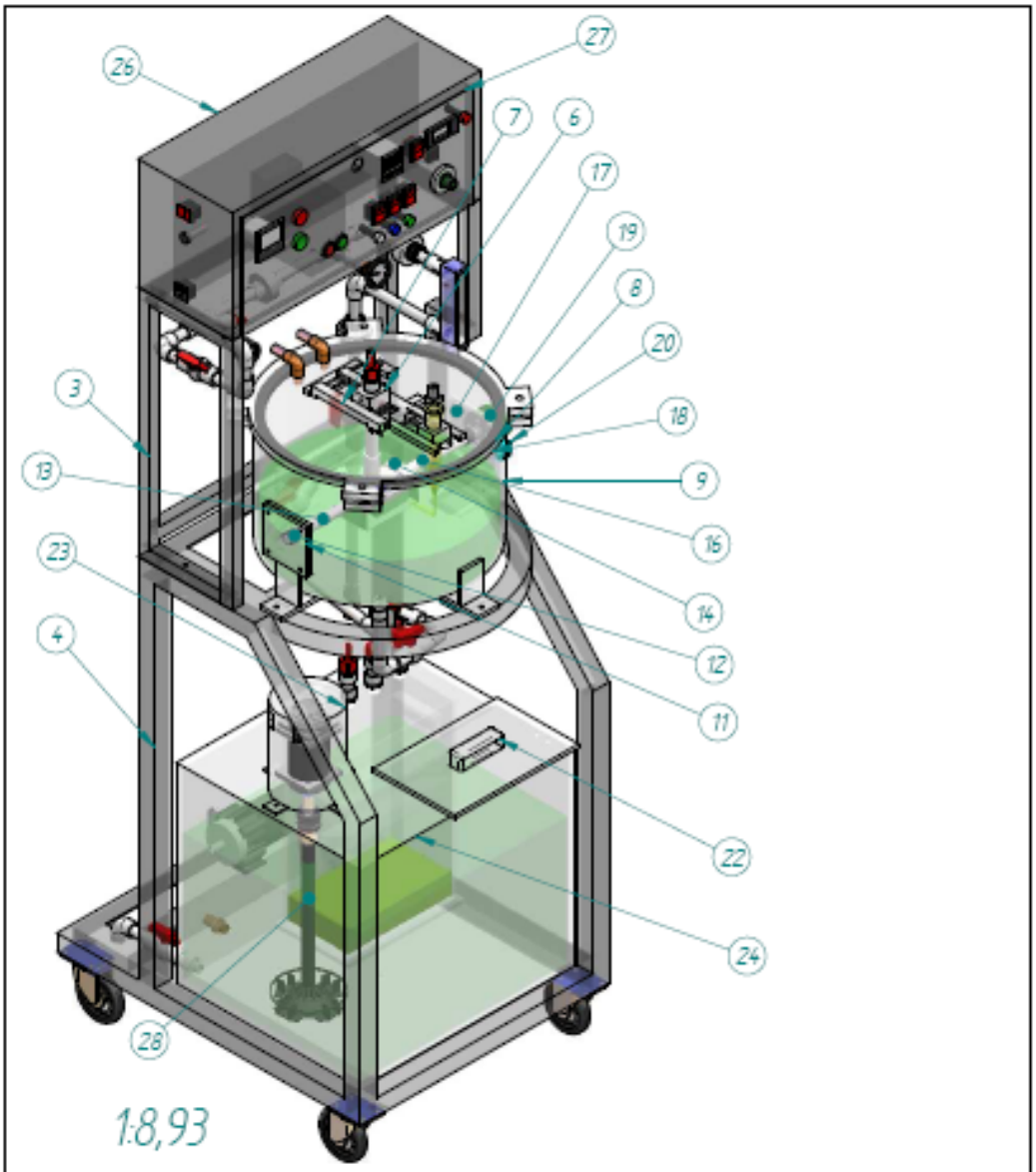
En caso de seleccionar **Abrir desde Archivo**, el usuario debe seleccionar el archivo que contiene la prueba, que debe tener extensión .dat para ser compatible con el formato de los datos del software. Los datos y la gráfica se actualizan con los valores almacenados.

Figura 30. Selección de archivo para descarga de datos.



Después de este proceso el usuario puede ingresar los datos pertinentes para el calculo de los resultados de corriente de corrosión y velocidad de corrosión.

ANEXO J. PLANOS



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA EN PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Salvo indicación contraria
cotas en milimetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

Seccion

Plano | Codigo

Material | Peso | Cantidad 1

Escala INDICADA | Plano 1 | Formato A4 | Rev

STUDENT VERSION ACADEMIC COPY

LISTA DE PIEZAS DISEÑADAS

NUM.	NOMBRE	MATERIAL	CANT.
3	ESTRUCTURA INFERIOR	ACERO INOXIDABLE	1
4	ESTRUCTURA SUPERIOR	ACERO INOXIDABLE	1
6	CARRITO 1 BOQUILLA	ACRILICO	1
7	CARRITO 2 BOQUILLA	ACRILICO	1
8	TAPA CELDA DE CARGA	ACRILICO	1
9	TOLVA- TANQUE	ACRILICO	1
11	PLACA LATERAL IZQUIERDA	ACRILICO	1
12	BUJE	DURALON NYLON	2
13	EJE IZQUIERDO	DURALON NYLON	1
14	ACOPLE EJE	ACRILICO	1
15	PORTAPROBETA	ACRILICO	1
16	EJE DERECHO	DURALON NYLON	1
17	TAPA LATERAL DERECHA	ACRILICO	1
18	EJE PIÑON PEQUEÑO	ACERO	1
19	ACOPLE PIÑON EJE	DURALON NYLON	1
20	MARMOTA DE FIJACION DE ANGULO	ACERO	1
22	TAPA TANQUE	ACRILICO	1
23	PROTECTOR MOTOR AGITADOR	ACRILICO	1
24	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	ACRILICO	1
26	CAJA	ACERO INOXIDABLE	1
27	TAPA	ACERO INOXIDABLE	1
28	EJE AGITADOR	DURALON NYLON	1

	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

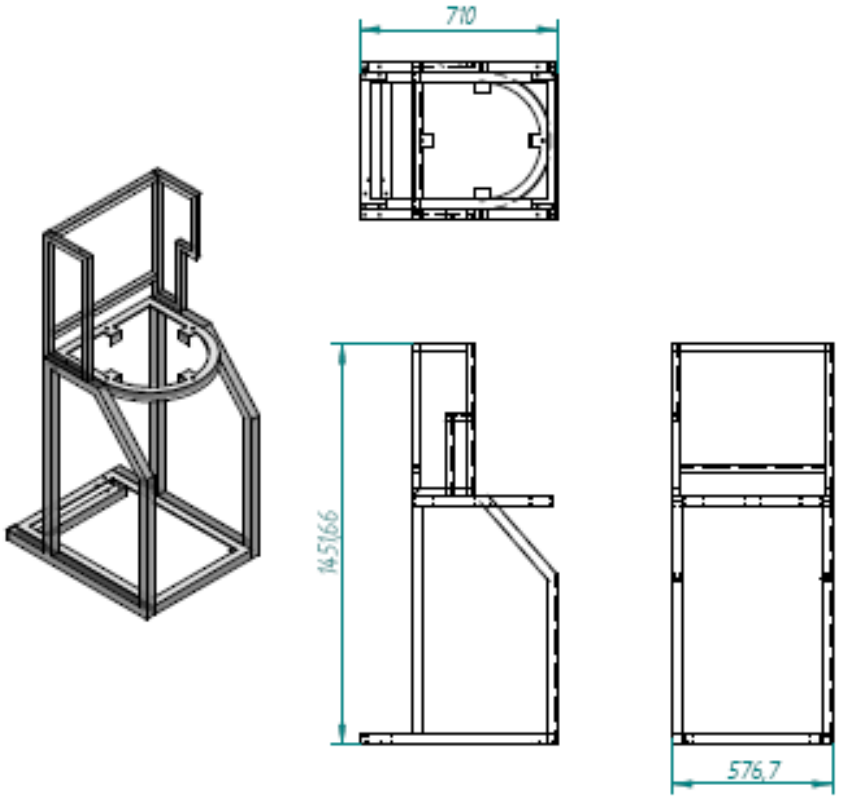
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Título: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

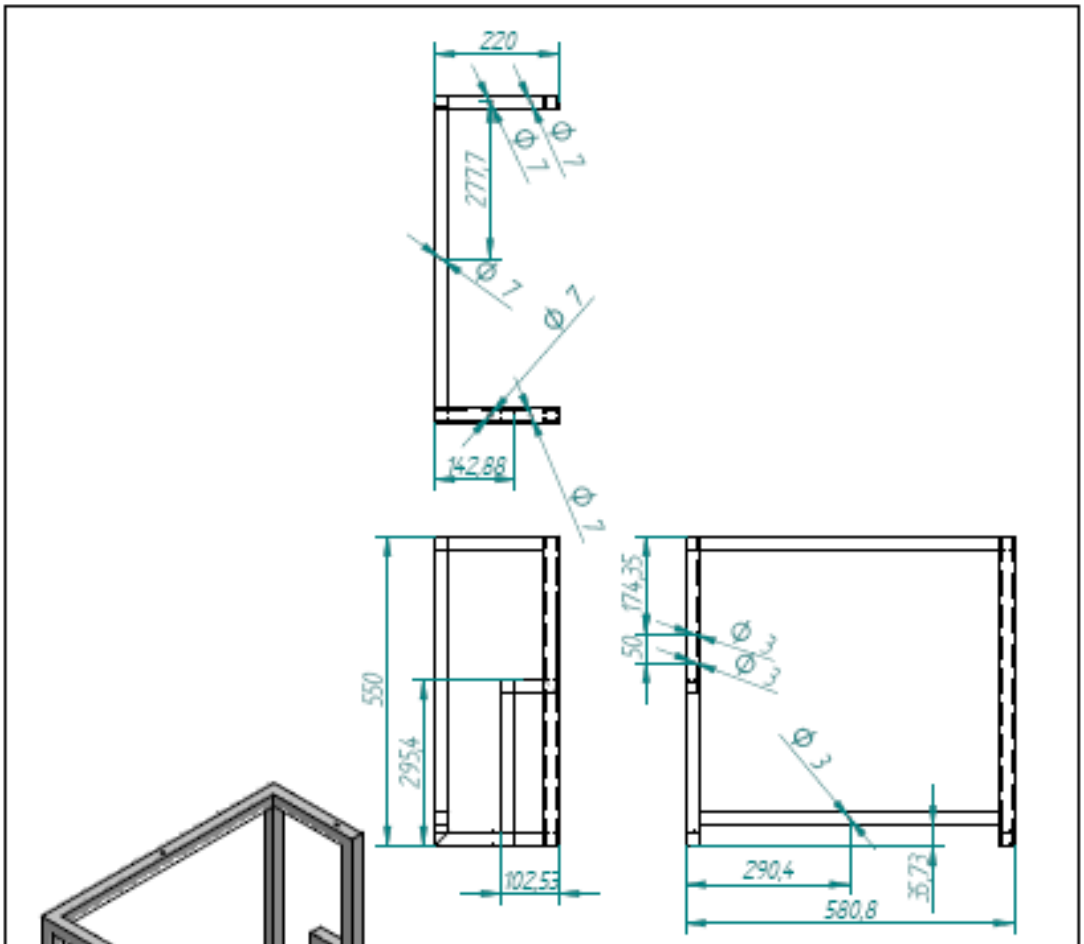
Escala			
Plano			Codigo
Material		Peso	Cantidad 1
Escala INDICADA	Plano 1-A	Formato A4	Rev

STUDENT ANDES COPY



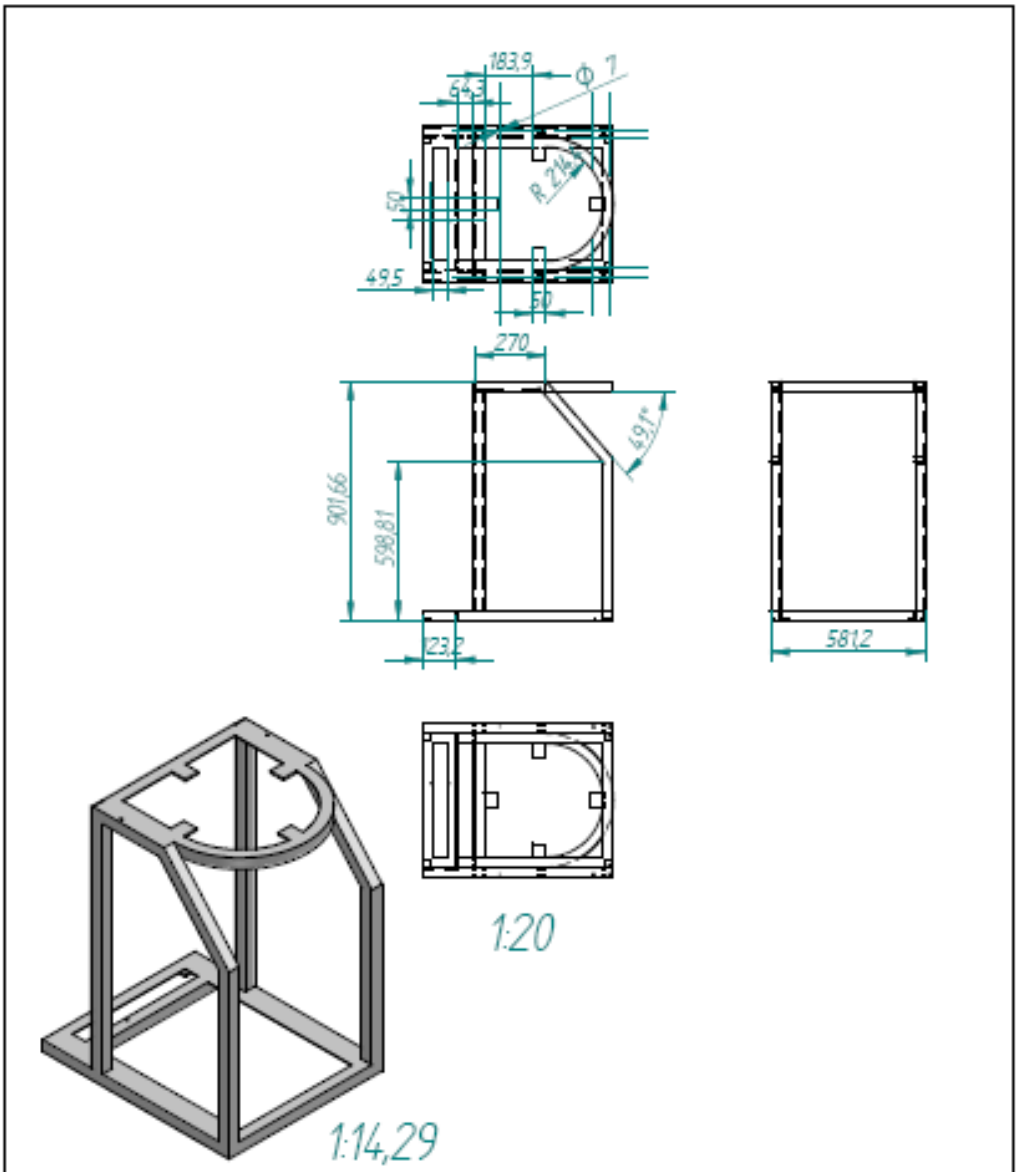
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Titulo DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Seccion ESTRUCTURA
			Plano CONJUNTO ESTRUCTURA SOPORTE — Codigo
			Material ACERO INOXIDABLE — Peso — Cantidad 1
			Escala 1:20 — Pliego 2 — Formato A4 — Rev

STUDENT AUTODESK COPY



	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	Escala ESTRUCTURA
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Plano ESTRUCTURA SUPERIOR — Codigo
			Material ACERO INOXIDABLE — Peso — Cantidad 1
			Escala 1:10 — Plano 3 — Formato A4 — Rev

STUDENT ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

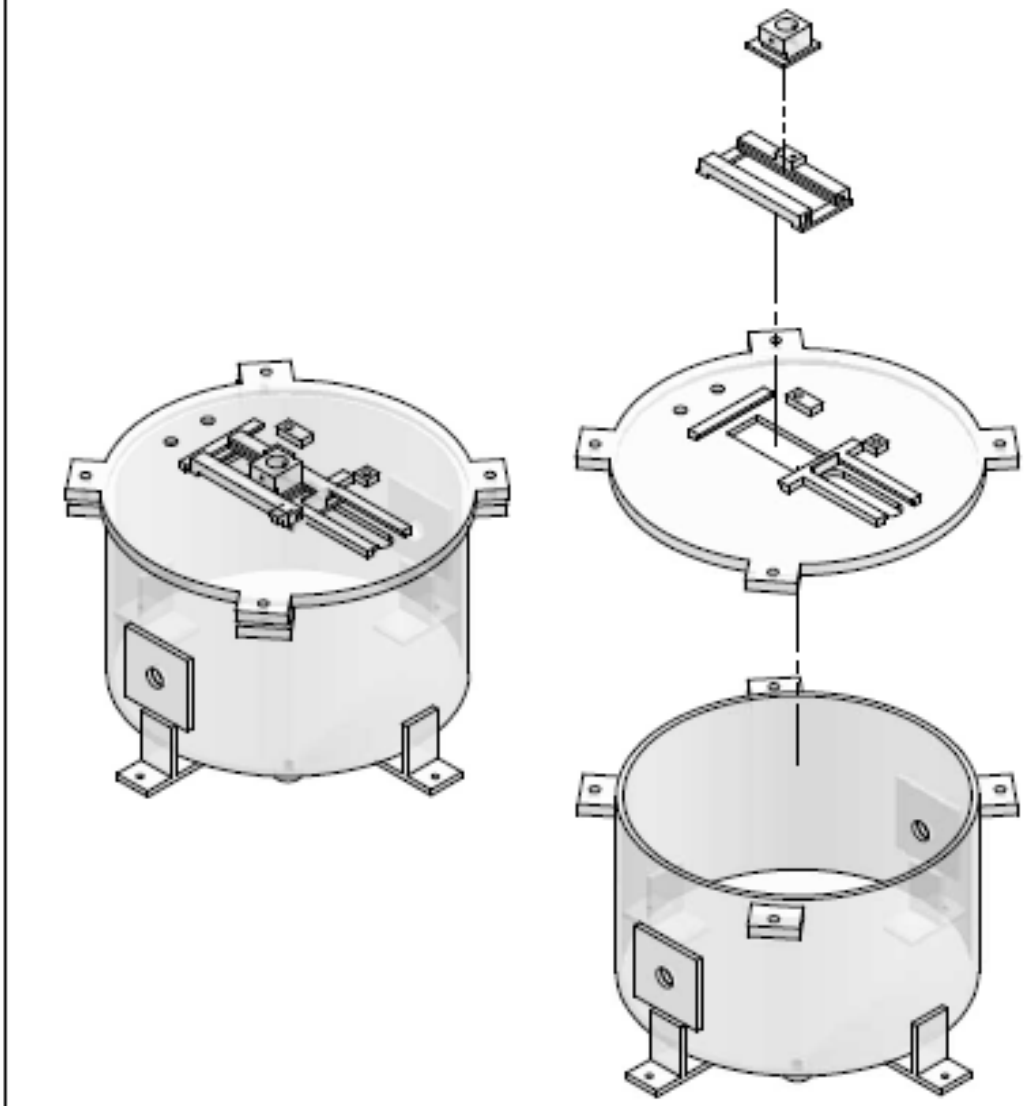
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBA PUNTO EQ ON BANCO EQ PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

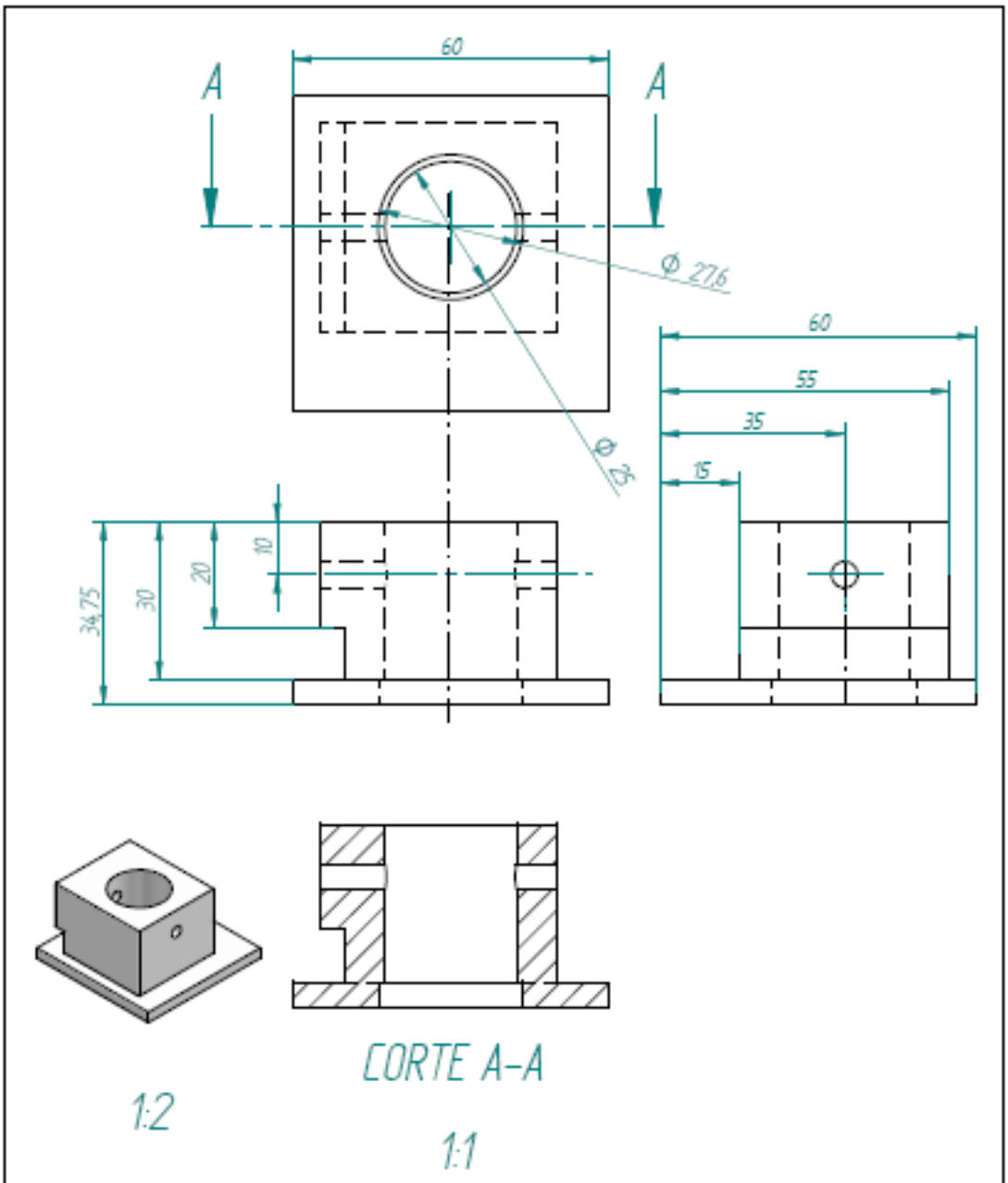
Seccion ESTRUCTURA			
Plano ESTRUCTURA INFERIOR			Codigo
Material ACERO INOXIDABLE		Peso	Cantidad 1
Escala INDICADAS	Plano 4	Formato A4	Rev

STUDENT VERSION COPY



	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Dibujado	J. SEBA	23-02-07				
Dibujado	M. TORREZ	22-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS			
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Grupo TOLVA			
			Plano CONJUNTO TOLVA			Codigo
			Material ACRILICO		Peso	Cantidad 1
			Escala 1:6,67	Plano 5	Formato A4	Rev

STUDENT COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

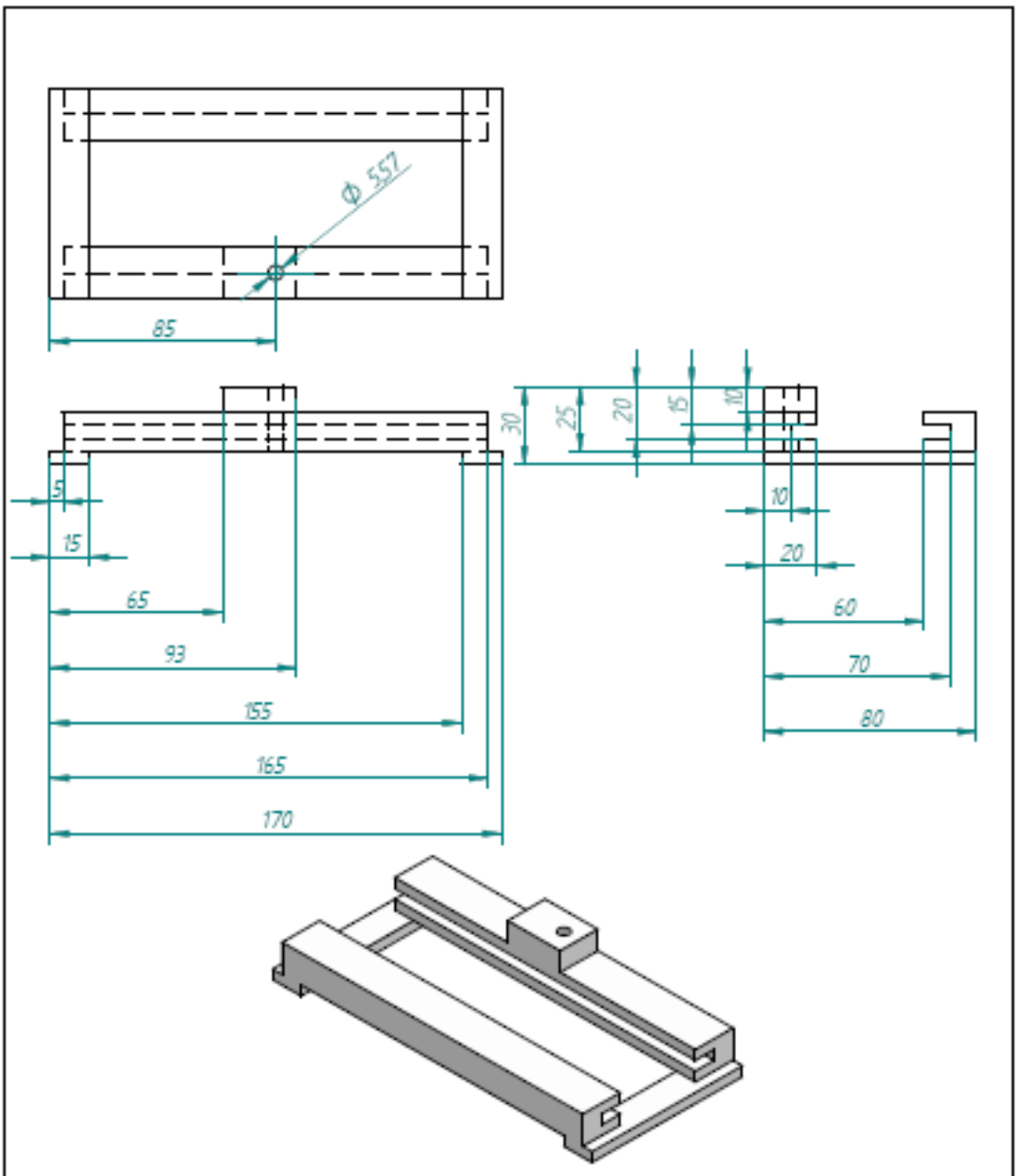
Seccion: TOLVA

Plano: CARRITO Y BOQUILLA — Codigo

Material: ACRILICO — Pezo — Cantidad: 1

Escala: INDICADAS — Plano: 6 — Formato: A4 — Rev

STUDENT EDITION AUTOCAD COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

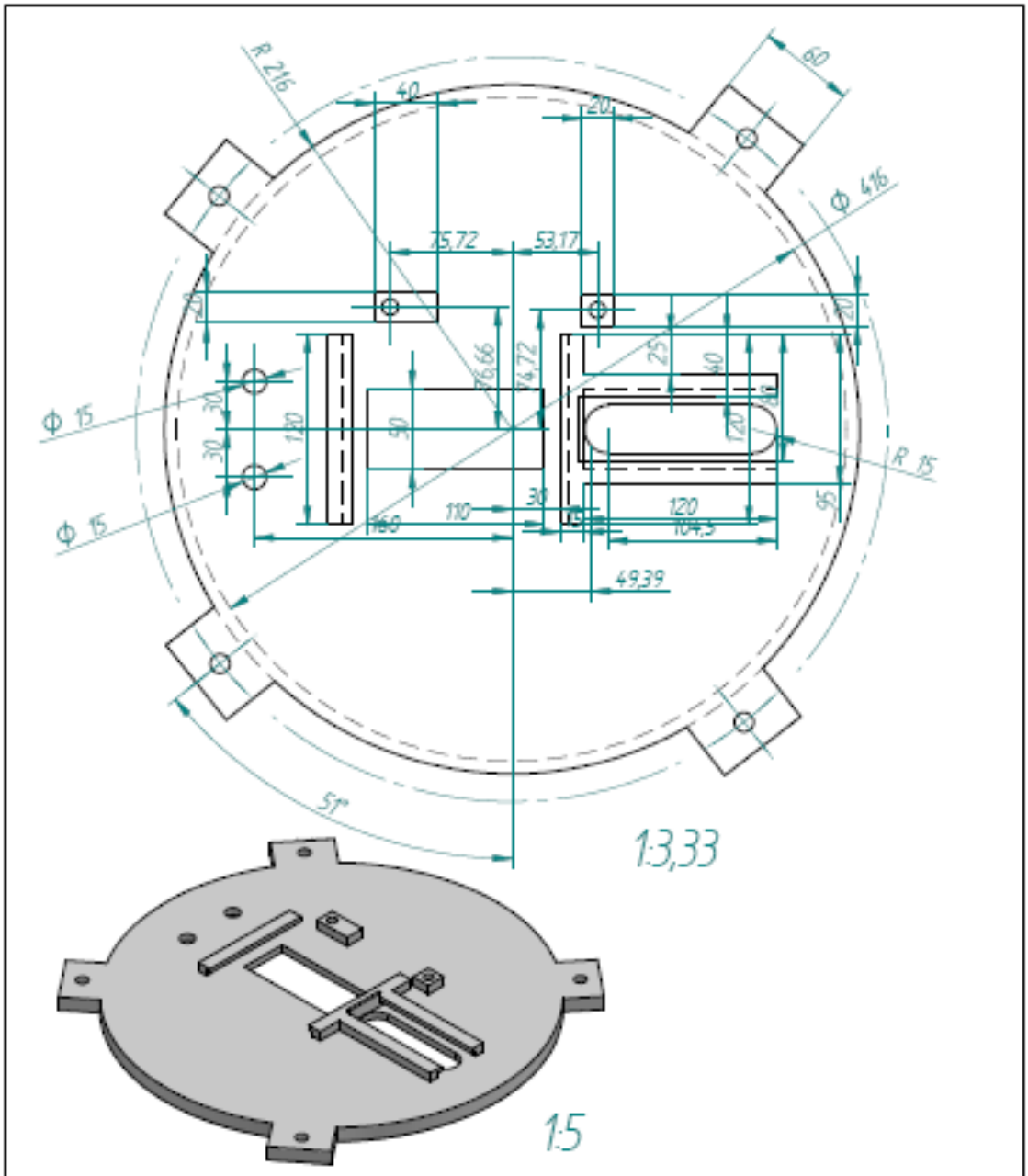
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Seccion TOLVA

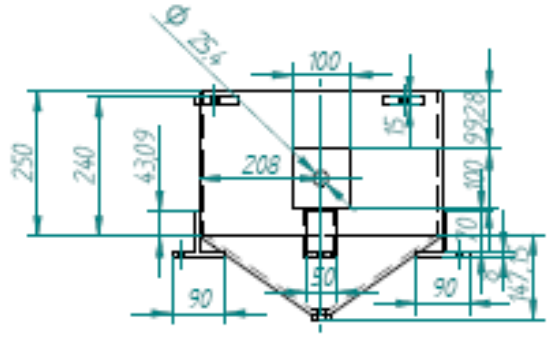
Plano CARRITO 2 BOQUILLA			Codigo
Material ACRILICO		Peso	Cantidad 1
Escala 1:2	Plano 7	Formato A4	Rev

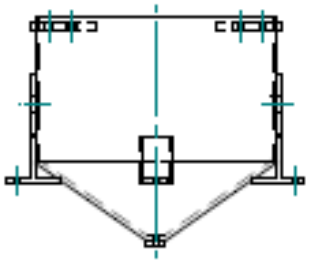
STUDENT EDITION COPY



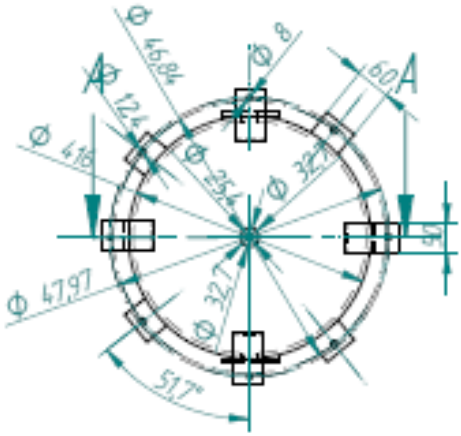
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Dibujado	J. SEBA	23-02-07				
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBA PUNTO DE UNIDAD DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS			
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	Sección TOLVA			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Plano TAPA CELDA DE CARGA			Codigo
			Material ACRILICO		Peso	Cantidad 1
			Escala INDICADAS	Plano 8	Formato A4	Rev

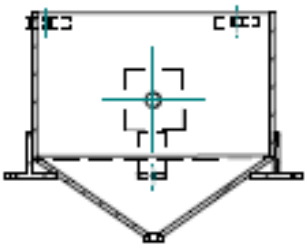
ACADEMIC COPY



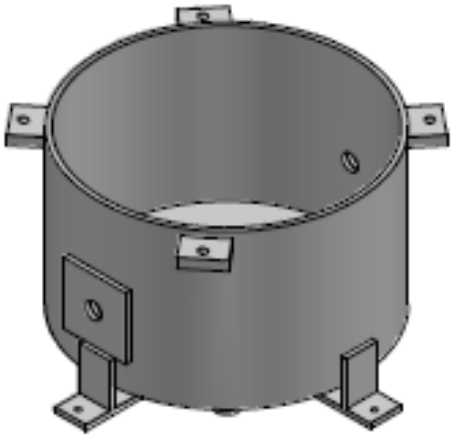


1:10





CORTE A-A



1:6,67

	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

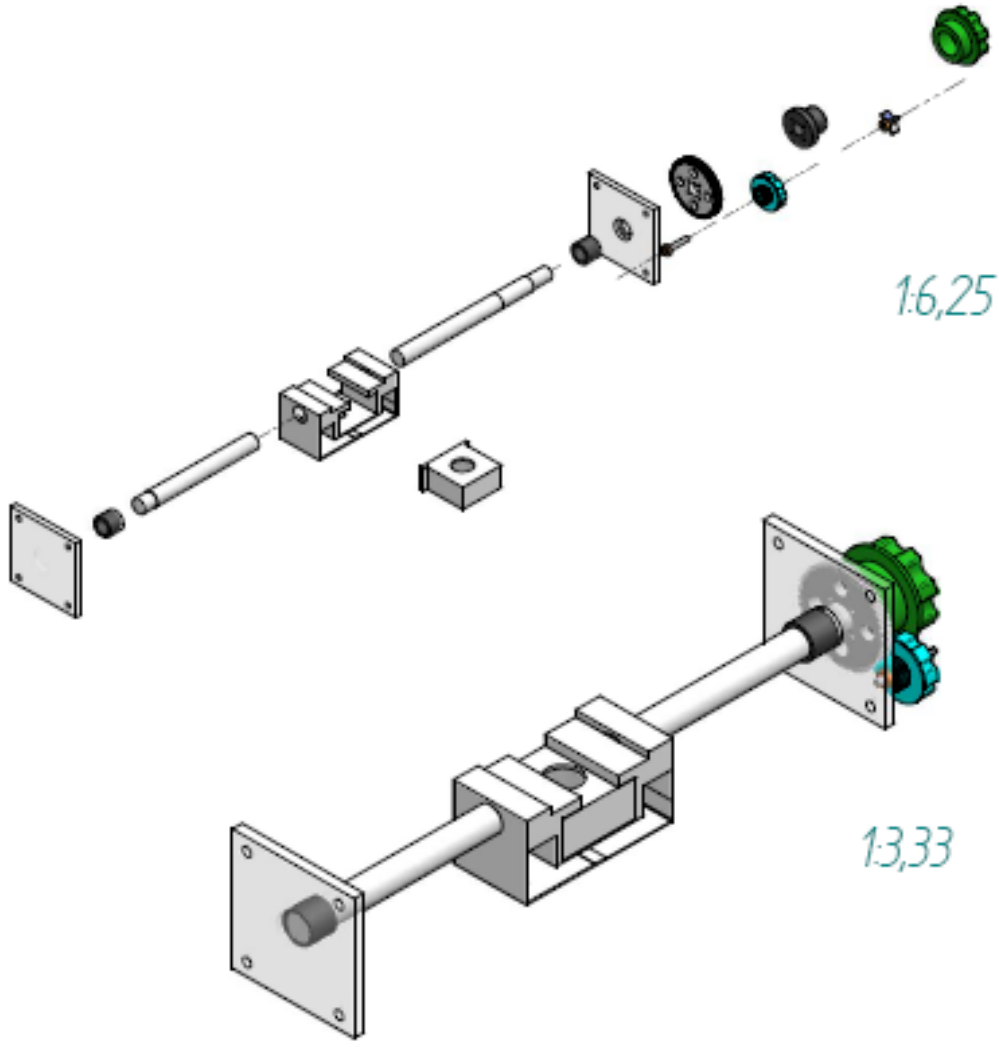
Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

Seccion TOLVA			
Plano TOLVA - TANQUE			Codigo
Material ACRILICO		Pezo	Cantidad 1
Escala INDICADAS	Plano 9	Formato A4	Rev

STUDENT EDITION COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

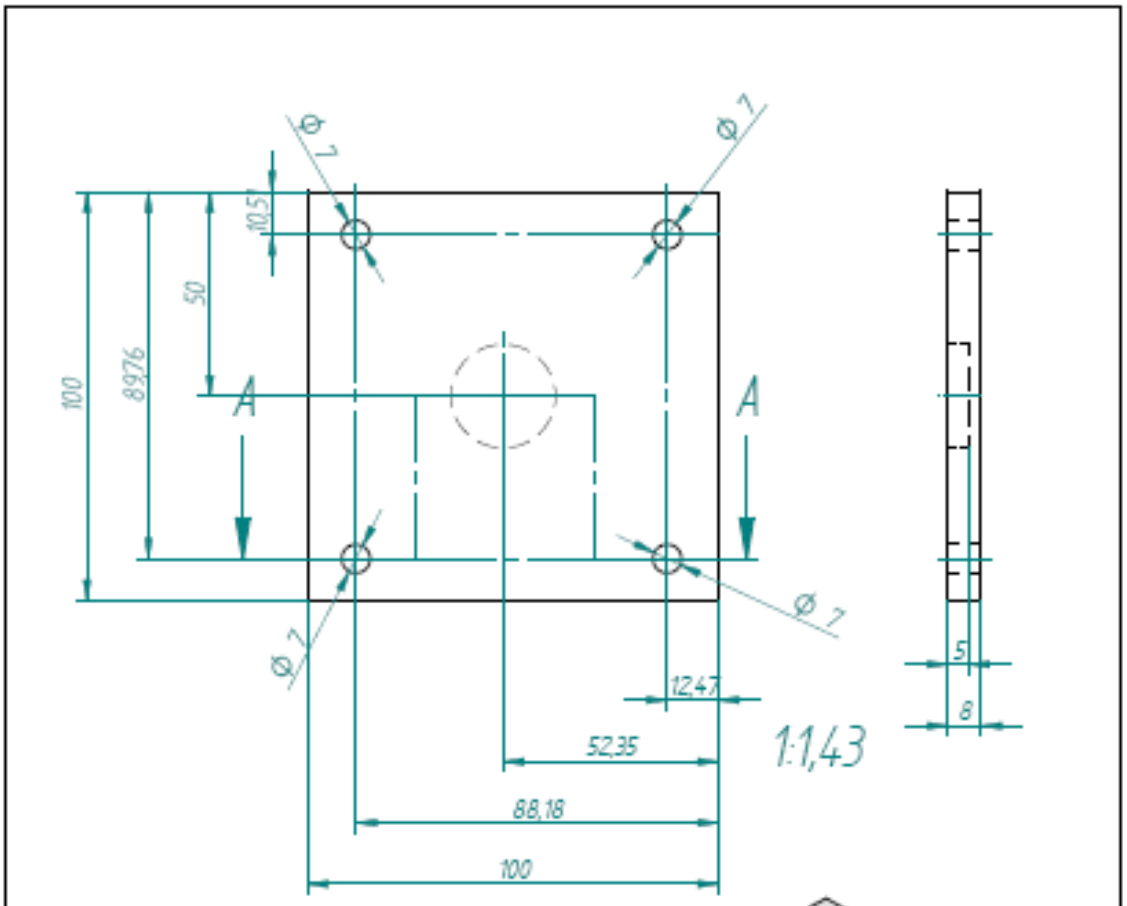
Seccion: SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO

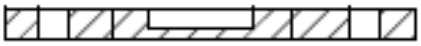
Plano: SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO CONJUNTO — Codigo

Material — Peso — Cantidad: 1

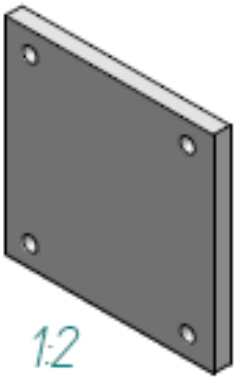
Escala: INDICADAS — Plano: 10 — Formato: A4 — Rev

STUDENT EDITION AUTODESK COPY





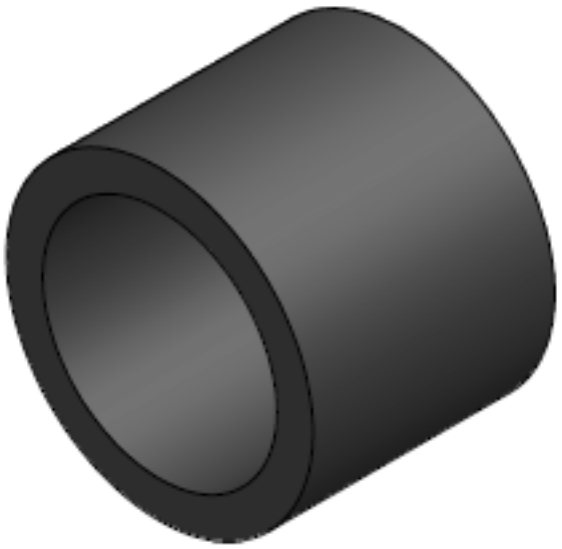
CORTE A-A



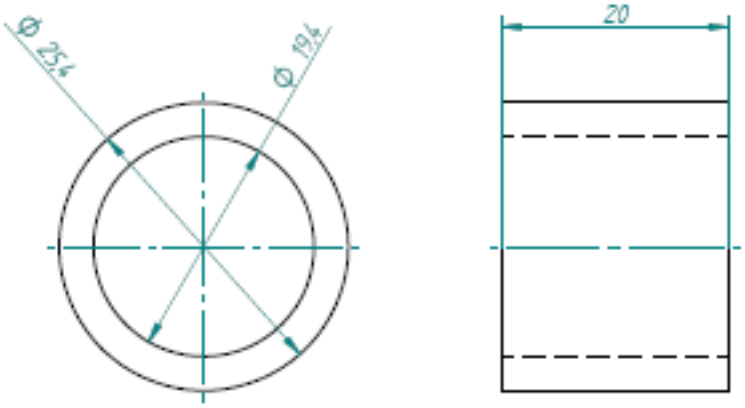
1:2

	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	Escala SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Plano TAPA LATERAL IZQUIERDA — Código
			Material ACRILICO — Peso — Cantidad 1
			Escala INDICADAS — Plano 11 — Formato A4 — Rev

ESTUDIANTE AUTORIZADO COPY



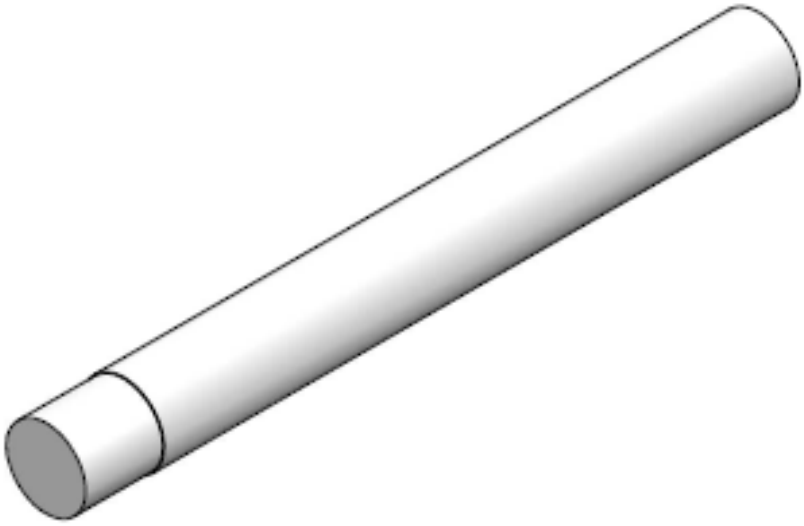
3:1



2:1

	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	Seccion SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Plano BUJE — Codigo
			Material DURALON NYLON — Peso — Cantidad 2
			Escala INDICADAS — Plano 12 — Formato A4 — Rev

STUDENT EDITION ACADEMIC COPY

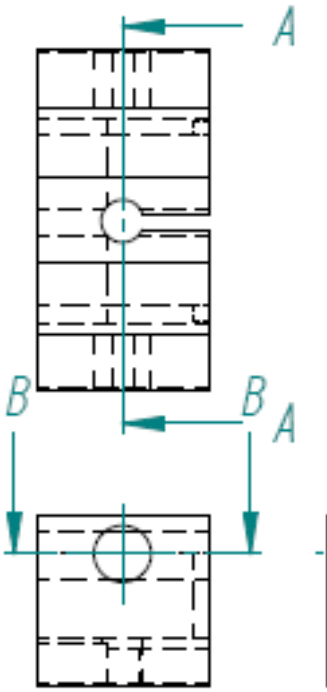


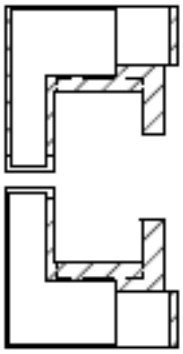
1:1

1:1,67

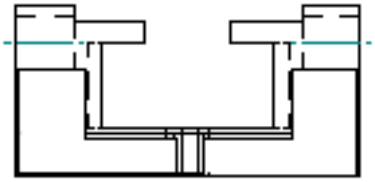
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Sección SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
			Plano EJE IZQUIERDO — Código
			Material DURALON NYLON — Peso — Cantidad 1
			Escala INDICADAS — Plano 13 — Formato A4 — Rev

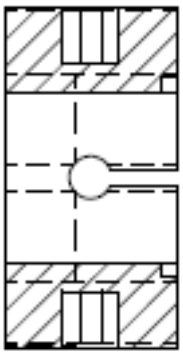
STUDENT ACADEMIC COPY



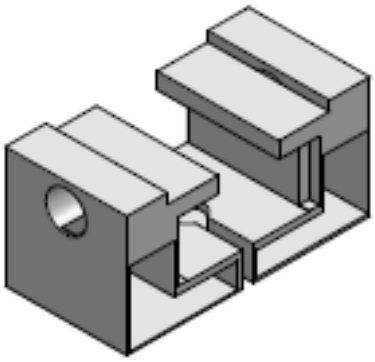


CORTE A-A





CORTE B-B



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

Seccion: SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO

Plano: ACOPLE EJES (CORTE)

Codigo:

Material: ACRILICO

Peso:

Cantidad: 1

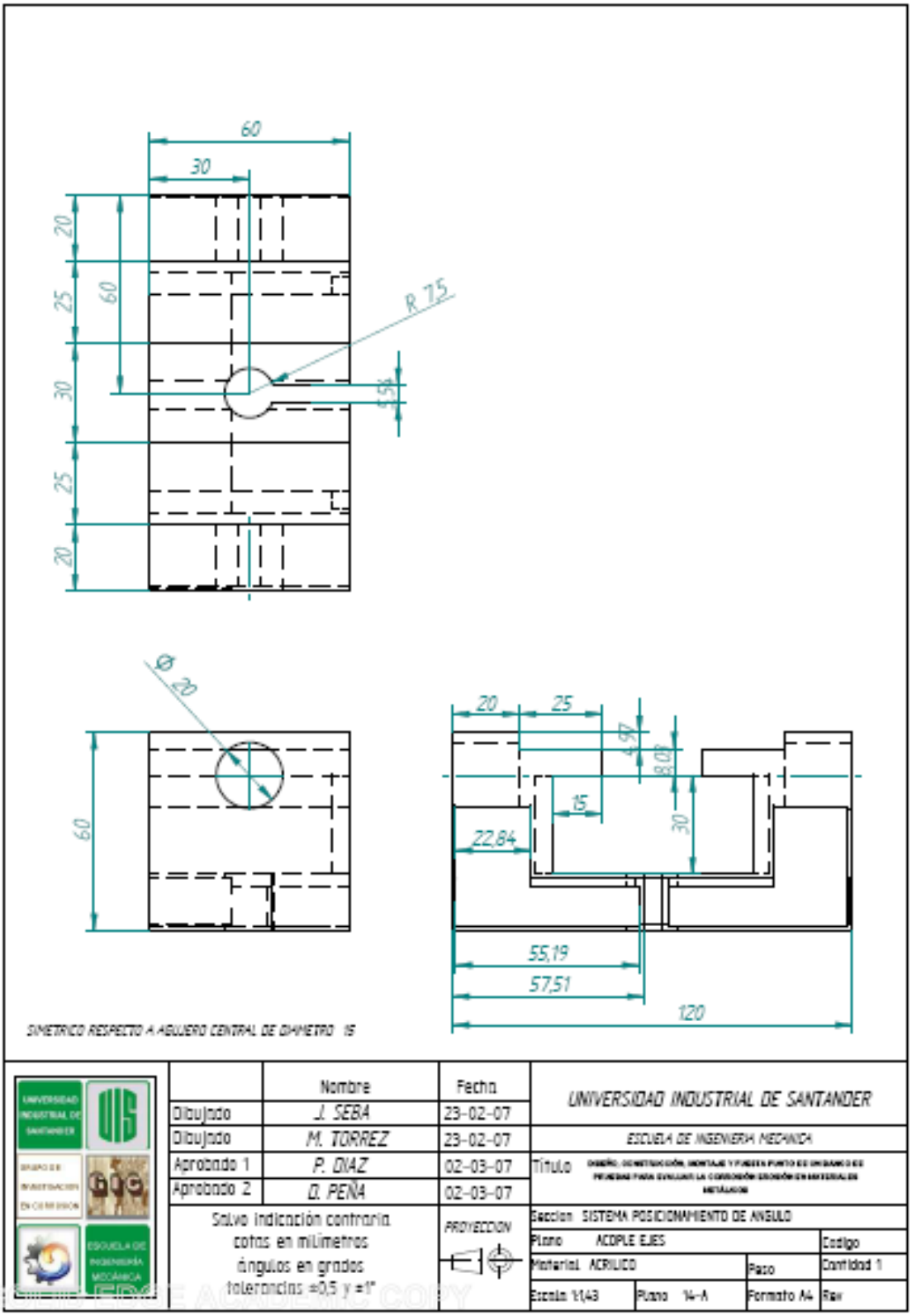
Escala: INDICADAS

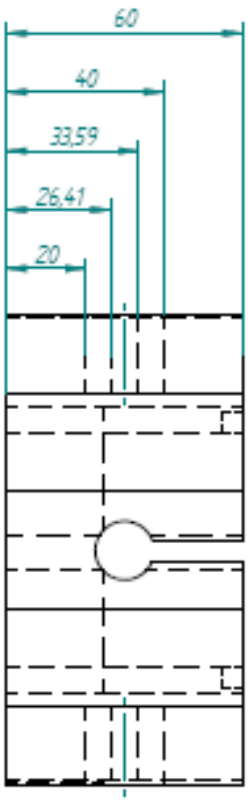
Pliego: 14

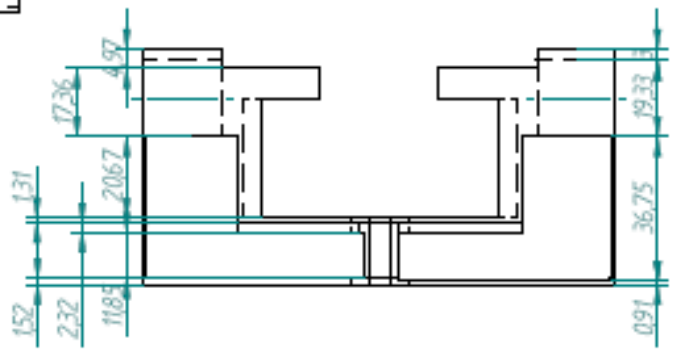
Formato: A4

Rev:

STUDENT EDITION COPY


60
30
20
25
60
30
25
20
R 7,5
4,5
Ø 20
60
20
25
4,97
8,03
15
22,84
30
55,19
57,51
120
SIMETRICO RESPECTO A AGUJERO CENTRAL DE DIAMETRO 15
Nombre
Fecha
Dibujado
J. SEBA
23-02-07
Dibujado
M. TORREZ
23-02-07
Aprobado 1
P. DIAZ
02-03-07
Aprobado 2
D. PEÑA
02-03-07
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°
PROYECCION
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Título
Sección SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
Plano ACOPLE EJES
Código
Material ACRILICO
Peso
Cantidad 1
Escala 1:1,43
Plano 14-A
Formato A4
Rev





SIMETRICO RESPECTO A AGUJERO CENTRAL DE DIAMETRO 15

	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

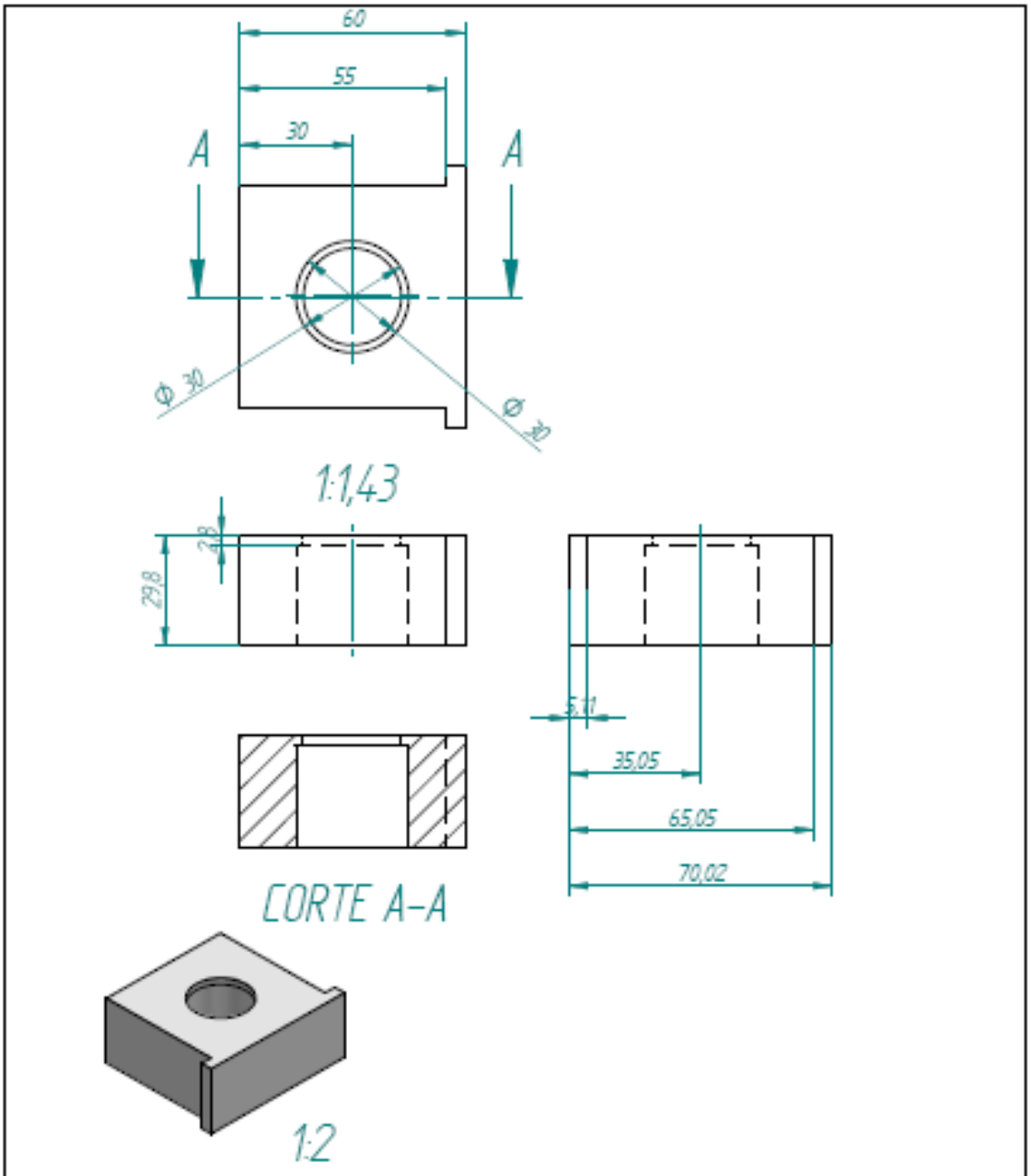
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Título: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Seccion SISTEMA PORTAPROBETA

Plano ACOPLE EJES			Codigo
Material ACRILICO		Peso	Cantidad 1
Escala 1:1,43	Plano 14-B	Formato A4	Rev

STUDENT ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

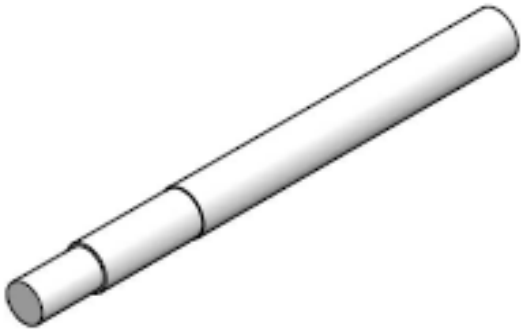
Seccion: SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO

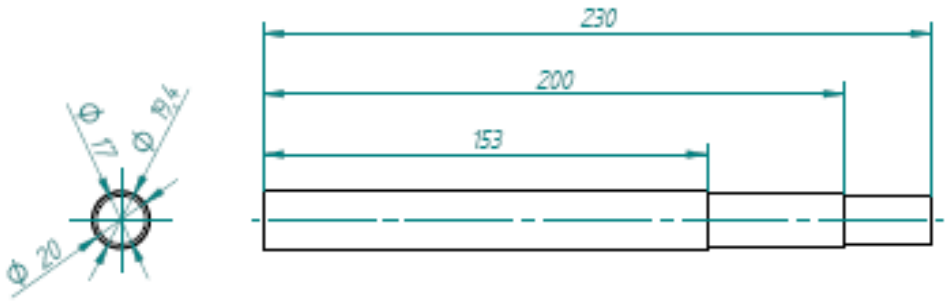
Plano: PORTAPROBETA — Codigo

Material: ACRILICO — Peso — Cantidad: 1

Escala: INDICADAS — Pliego: 16 — Formato: A4 — Rev

STUDENT EDITION - NOT FOR ACADEMIC COPY





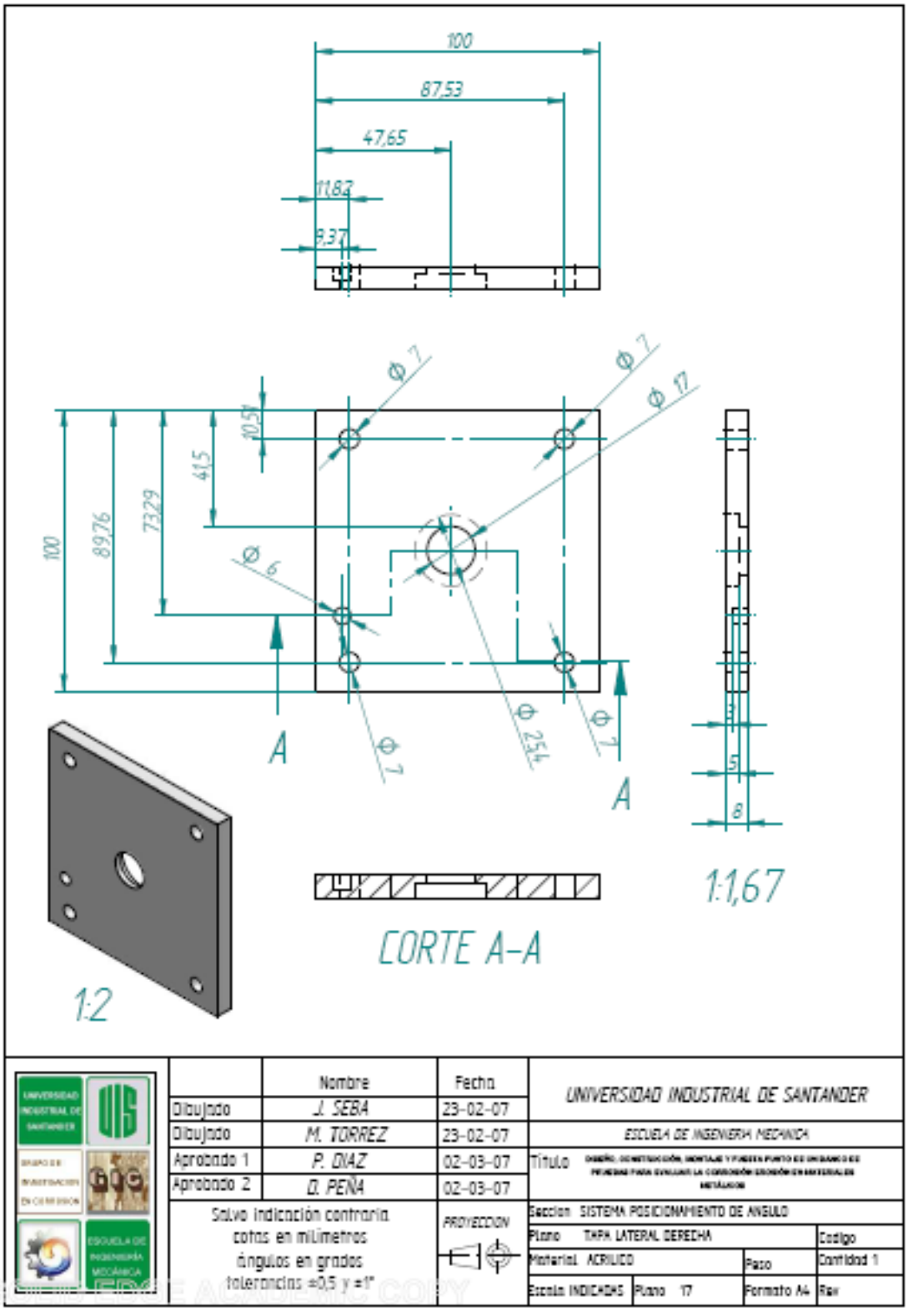
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Titulo DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07	

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

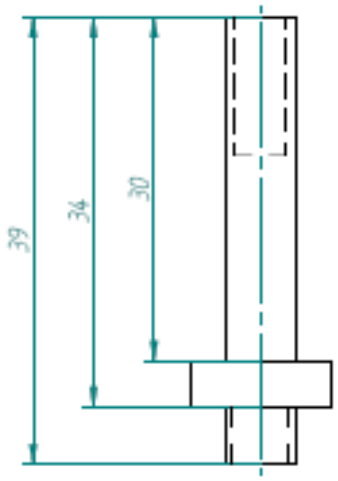
Seccion SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO			
Plano EJE DERECHO			Codigo
Material DURALON NYLON		Peso	Cantidad 1
Escala 1:2	Pliego 16	Formato A4	Rev

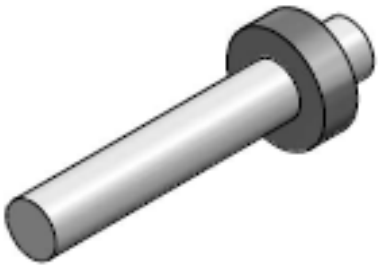
STUDENT ACADEMIC COPY

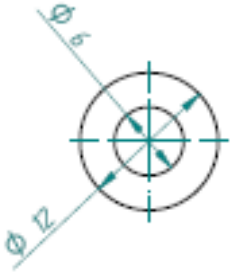


	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Sección SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
			Plano TAPA LATERAL DERECHA — Código
			Material ACRILICO — Peso — Cantidad 1
			Escala INDICADOS — Plano 17 — Formato A4 — Rev

STUDENT VERSION OF AUTODESK COPY

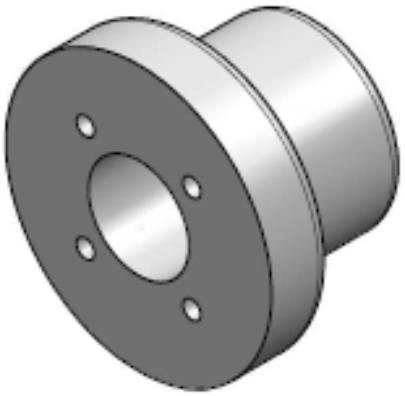




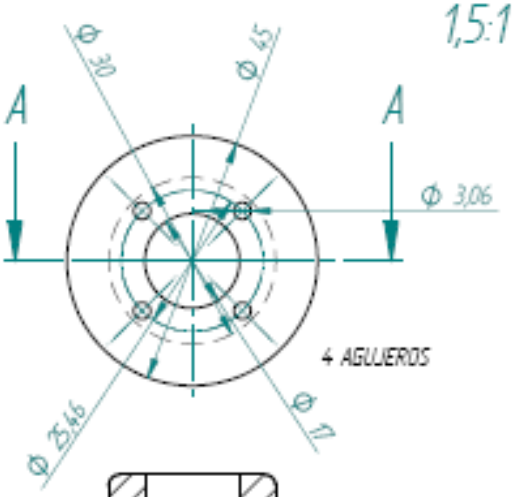


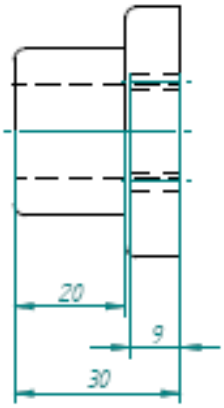
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Titulo DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	Seccion SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
Salvo indicación contraria cotas en milimetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Plano EJE PIÑON PEQUEÑO / Codigo
			Material ACERO / Peso / Cantidad 1
			Escala 2:1 / Plano 18 / Formato A4 / Rev

STUDENT VERSION OF AUTOCAD 2007



1,5:1



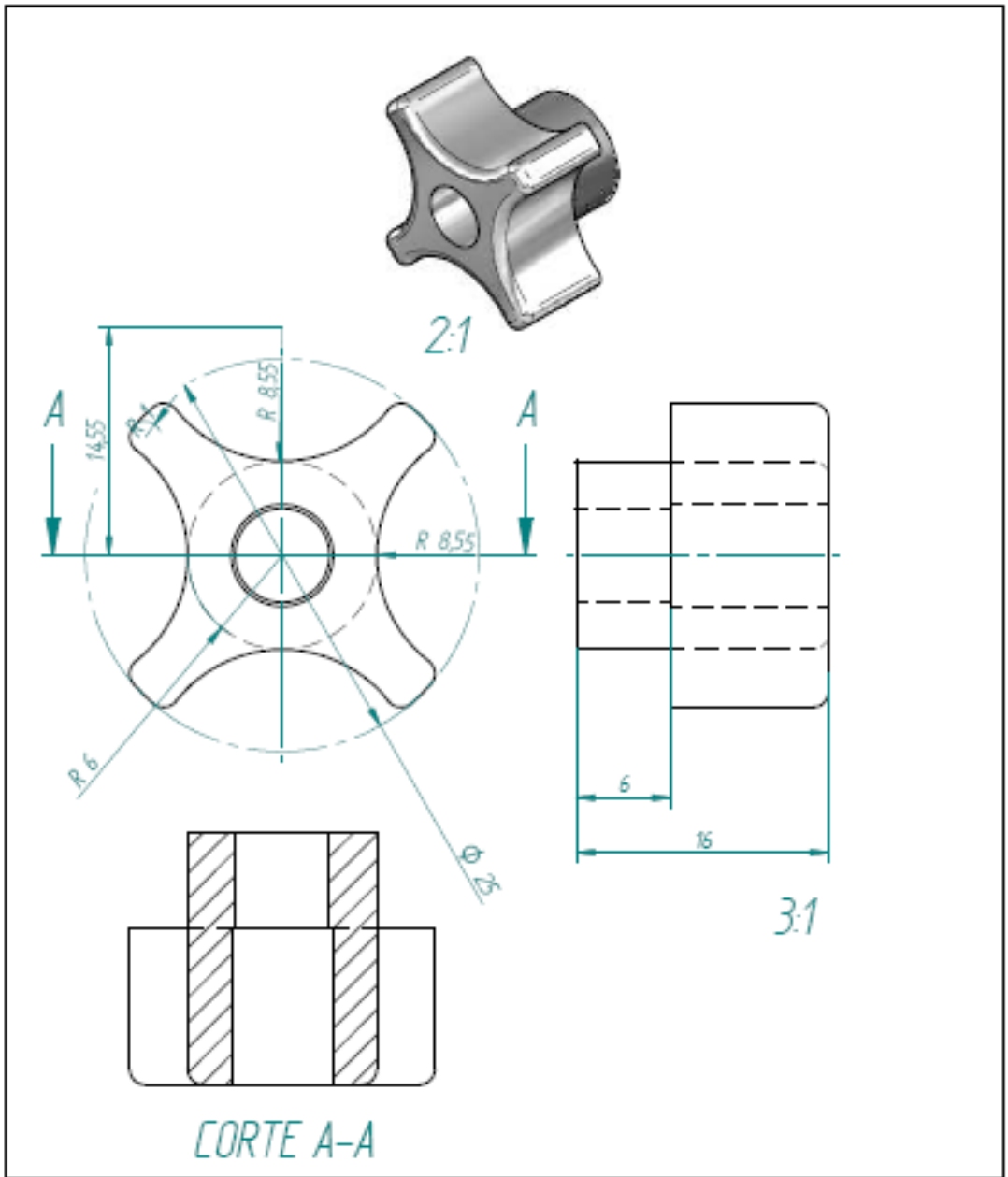


1:1

CORTE A-A

	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Sección SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO
			Plano ACOPLE PIÑON EJE — Codigo
			Material DURALON NYLON — Peso — Cantidad 1
			Escala INDICADAS — Pliego 19 — Formato A4 — Rev

BIBLIOTECA AUTORIZADA COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA A PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

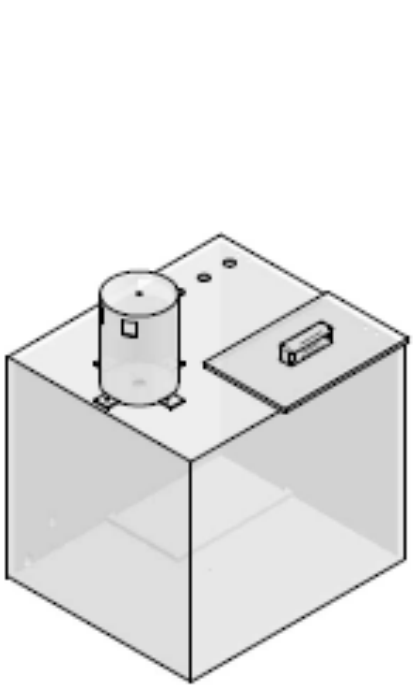
Sección SISTEMA POSICIONAMIENTO DE ANGULO

Plano MARIPOSA DE FIJACION DE ANGULO — Codigo

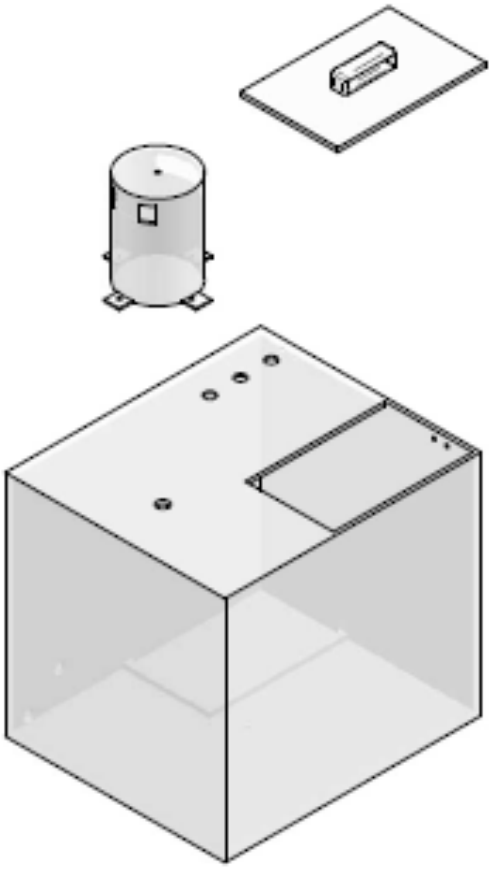
Material ACERO — Peso — Cantidad 1

Escala INDICADAS — Plano 20 — Formato A4 — Rev

STUDENT ACADEMIC COPY



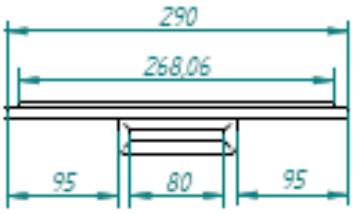
1:10

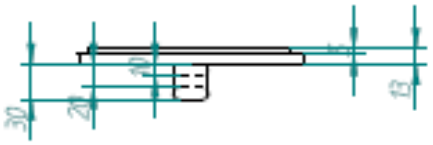


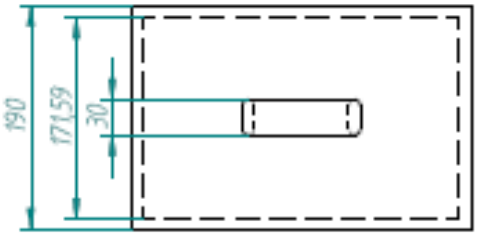
1:8,33

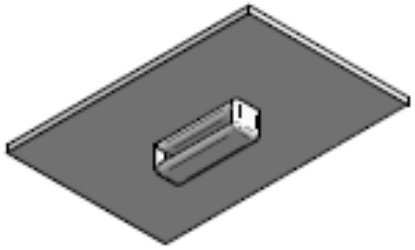
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Dibujado	J. SEBA	23-02-07				
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Titulo	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS		
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Seccion TANQUE ALMACENAMIENTO			
			Plano TANQUE ALMACENAMIENTO CONJUNTO			Codigo
			Material ACRILICO		Peso	Cantidad 1
			Escala INDICADAS	Plano 21	Formato A4	Rev

STUDENT VERSION COPY



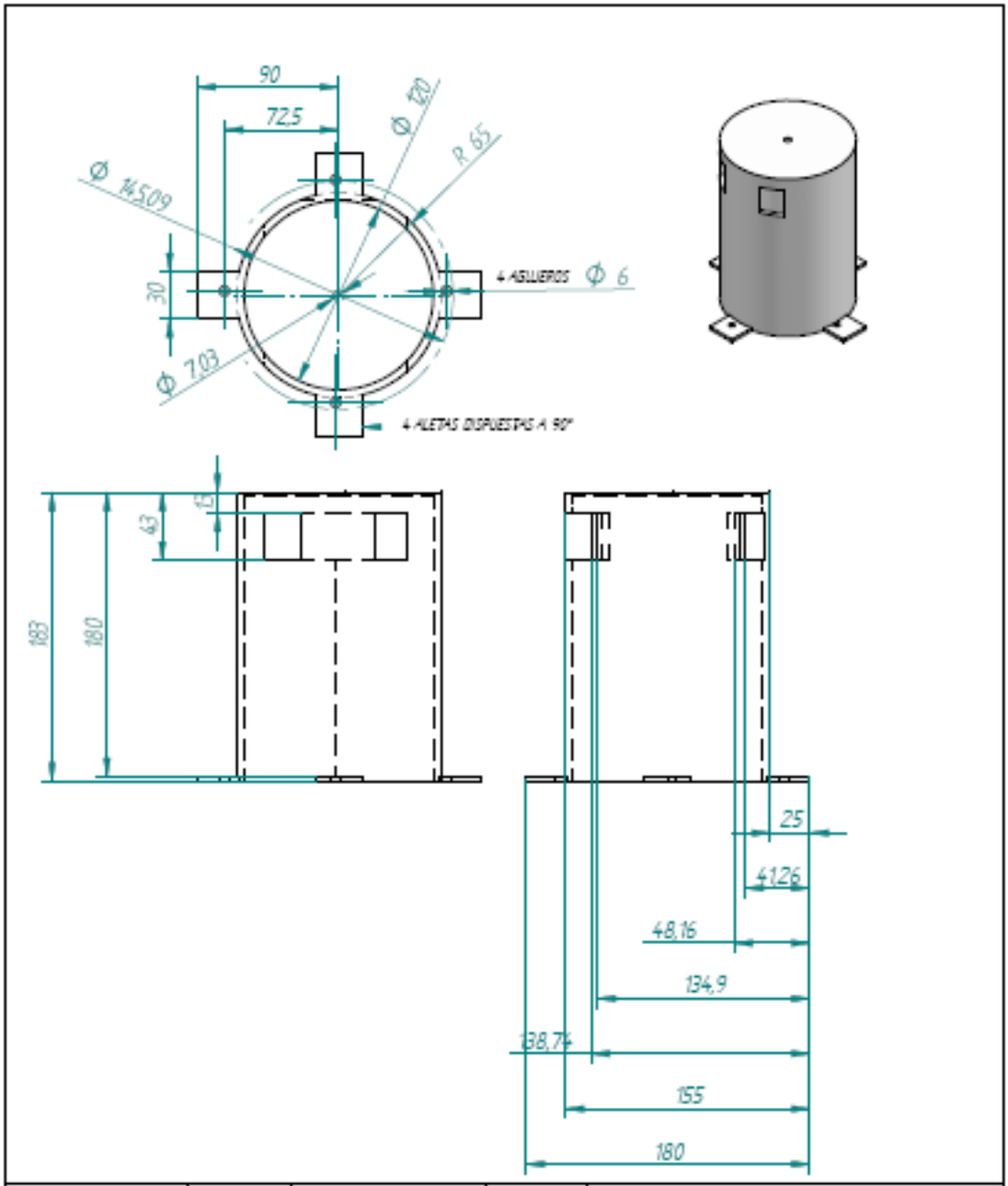






	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Dibujado	J. SEBA	23-02-07	
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Titulo DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Seccion TANQUE
			Plano TAPA TANQUE — Codigo
			Material ACRILICO — Peso — Cantidad 1
			Escala 1:5 — Plano 22 — Formato A4 — Rev

STUDENT EDITION OF AUTODESK INVENTOR



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

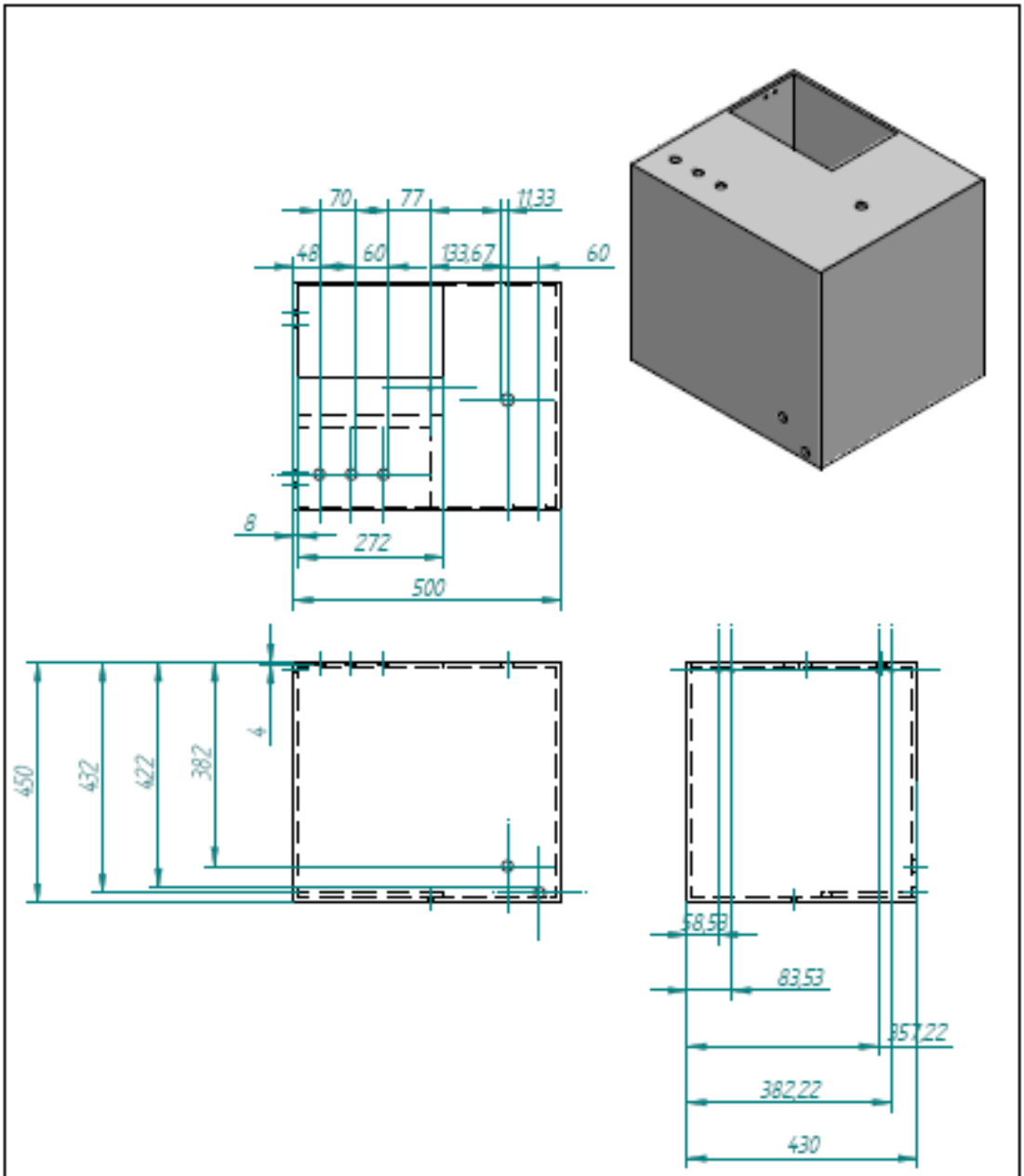
Seccion: TANQUE

Plano: PROTECTOR MOTOR AGITADOR — Codigo

Material: ACRILICO — Pezo — Cantidad 1

Escala 1:5 — Plano: 23 — Formato A4 — Rev

STUDENT VERSION COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

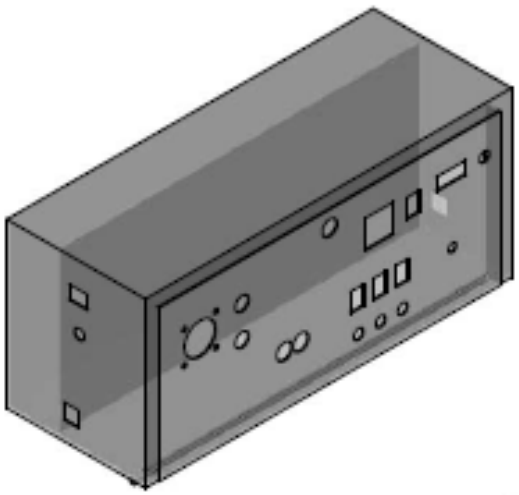
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

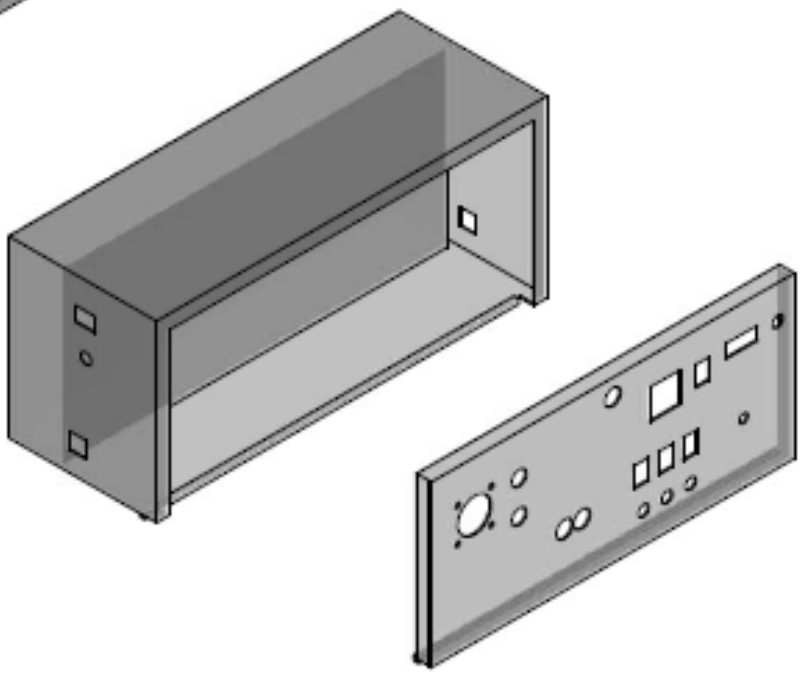
Título: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Seccion TANQUE			
Plano TANQUE ALMACENAMIENTO			Codigo
Material ACRILICO		Peso	Cantidad 1
Escala 1:10	Pliego 24	Formato A4	Rev

STUDENT ACADEMIC COPY



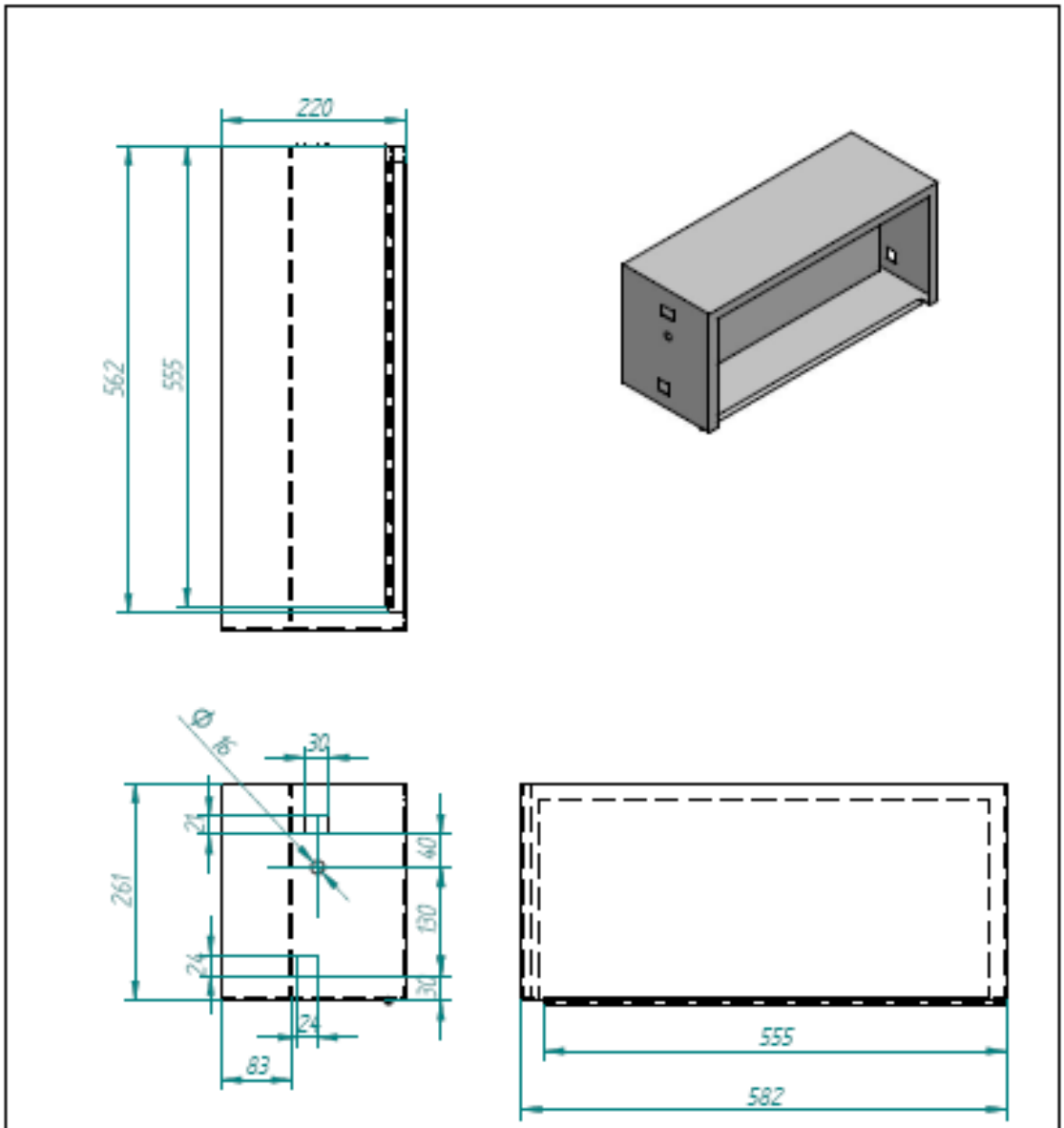
1:6,67



1:6,25

	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Dibujado	J. SEBA	23-02-07				
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07	Título DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS			
Aprobado 2	O. PEÑA	02-03-07				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		PROYECCION	Sección CAJA DE CONTROL			
			Plano CAJA DE CONTROL CONJUNTO			Codigo
			Material ACERO INOXIDABLE		Peso	Cantidad 1
			Escala INDICADAS	Pliego 25	Formato A4	Rev

STUDENT ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

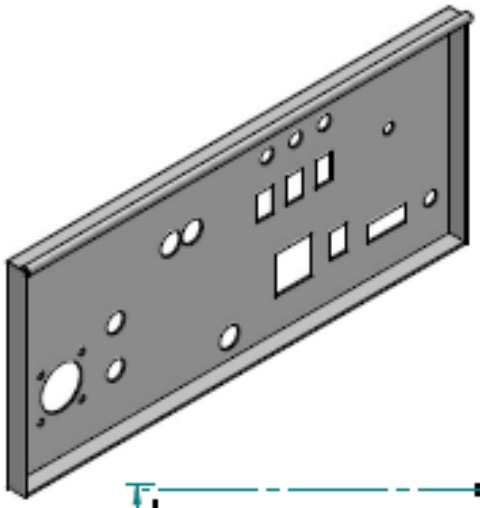
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

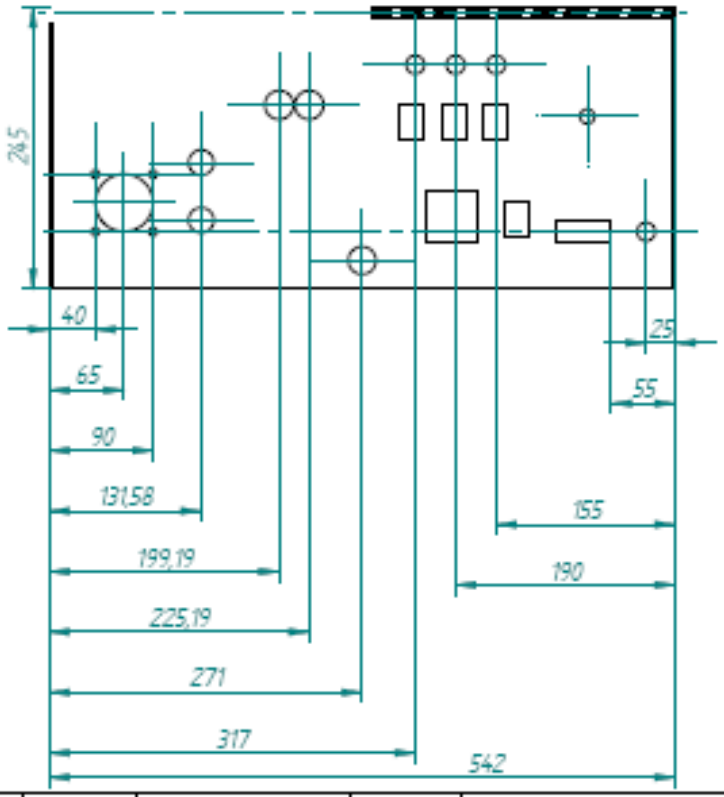
Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA EN PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Seccion CAJA DE CONTROL

Plano CAJA			Codigo
Material ACERO INOXIDABLE		Peso	Cantidad 1
Escala 1:6,7	Plano 26	Formato A4	Rev

STUDENT VERSION COPY





	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

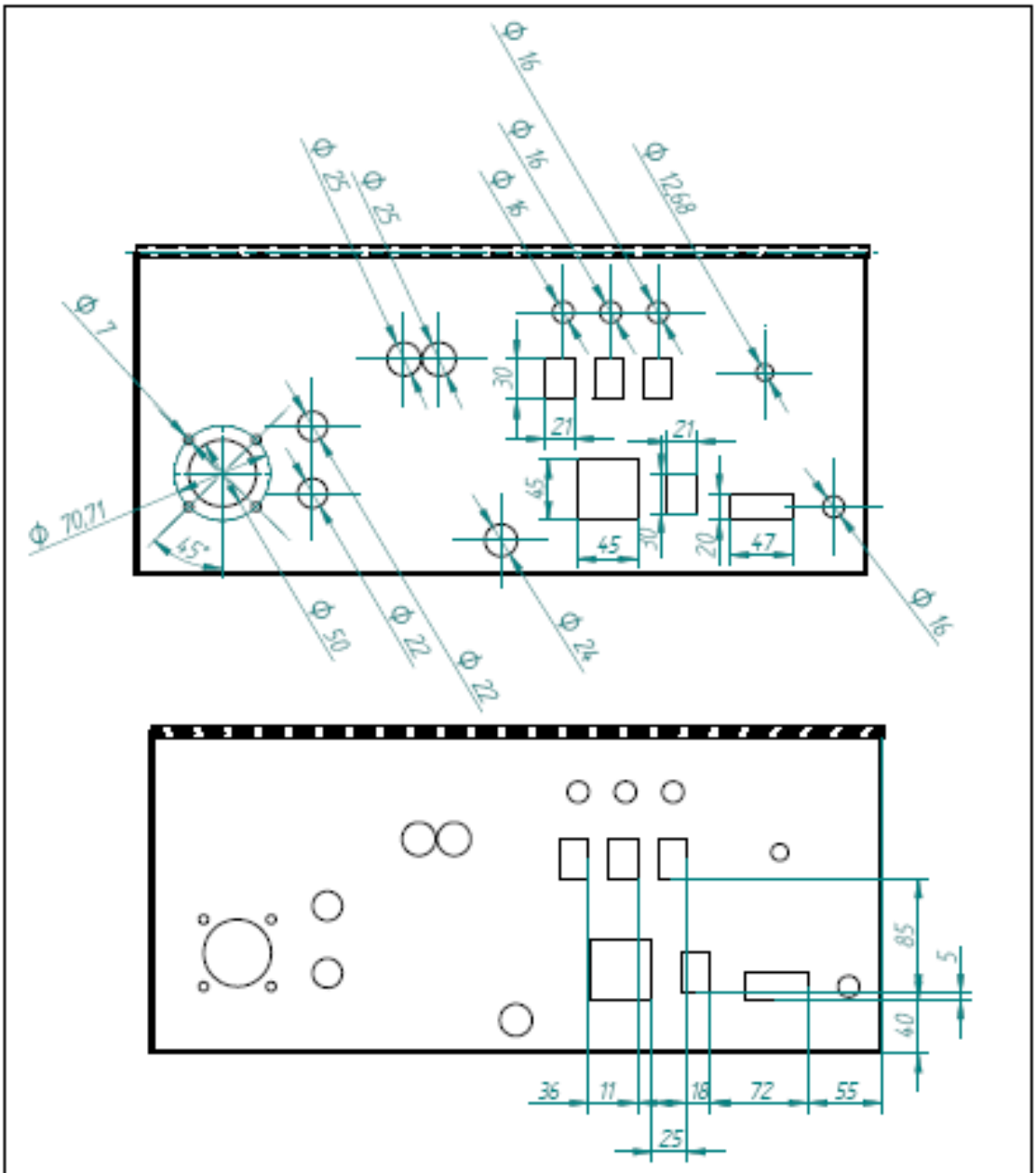
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Seccion CAJA DE CONTROL

Plano TAPA			Codigo
Material ACERO INOXIDABLE		Peso	Cantidad 1
Escala 1:5	Plano 27	Formato A4	Rev

STUDENT ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Título: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA EN PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

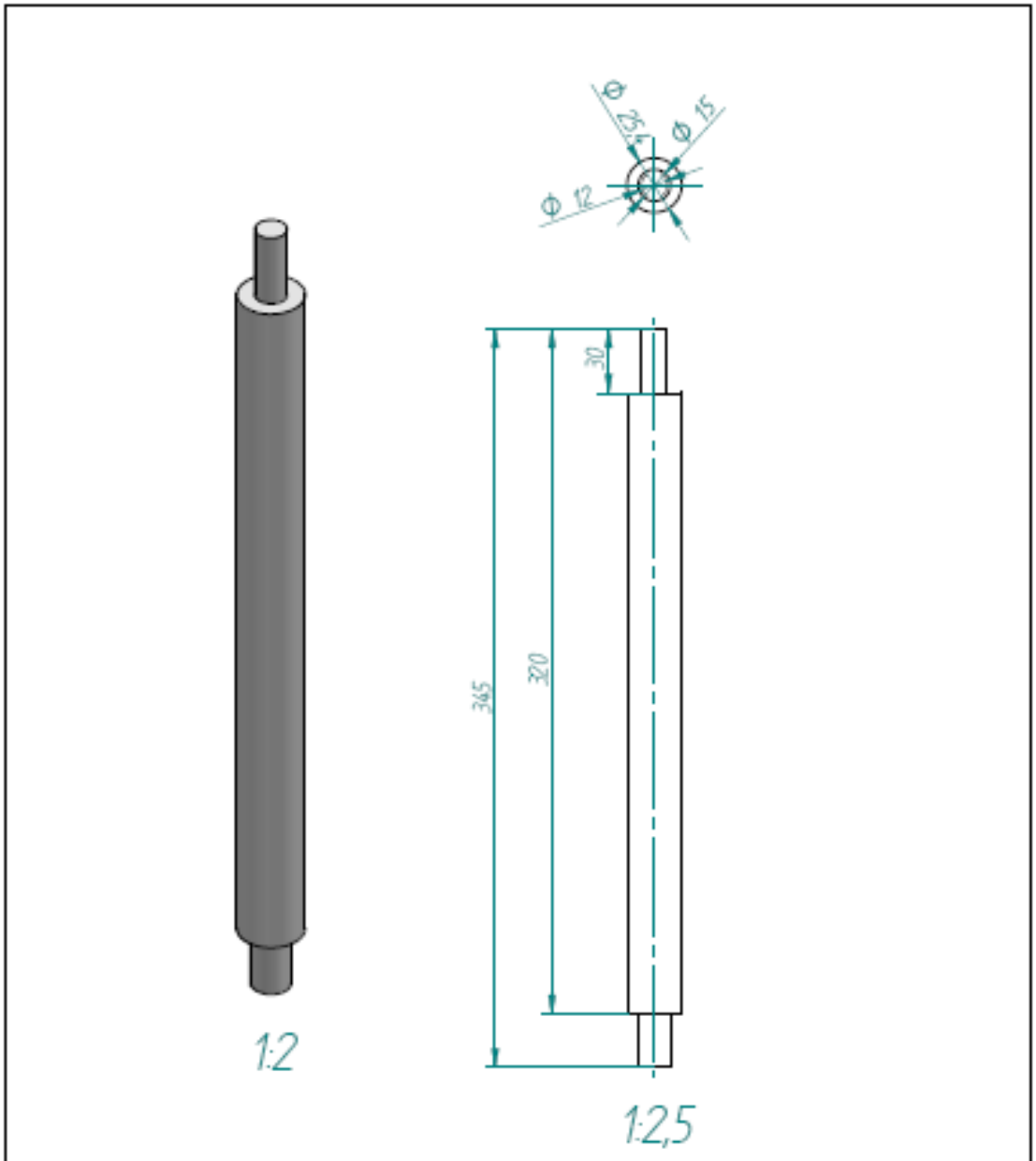
Seccion CAJA DE CONTROL

Plano TAPA — Codigo

Material ACERO INOXIDABLE — Peso — Cantidad 1

Escala 1:4 — Plano 27-A — Formato A4 — Rev

STUDENT VERSION ACADEMIC COPY



	Nombre	Fecha
Dibujado	J. SEBA	23-02-07
Dibujado	M. TORREZ	23-02-07
Aprobado 1	P. DIAZ	02-03-07
Aprobado 2	D. PEÑA	02-03-07

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ±0,5 y ±1°

PROYECCION

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Titulo: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PUESTA PUNTO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Seccion AGITADOR

Plano EJE AGITADOR — Codigo

Material DURALON NYLON — Peso — Cantidad 1

Escala INDICADAS — Plano 28 — Formato A4 — Rev